

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

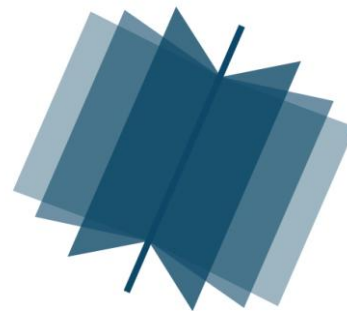
***INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL***

---

**ISSN 2303-9868 PRINT  
ISSN 2227-6017 ONLINE**

Екатеринбург  
2016





Периодический теоретический и научно-практический журнал.  
Выходит 12 раз в год.  
Учредитель журнала: ИП Соколова М.В.  
Главный редактор: Миллер А.В.  
Адрес редакции: 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская,  
д. 4, корп. А, оф. 17.  
Электронная почта: [editors@research-journal.org](mailto:editors@research-journal.org)  
Сайт: [www.research-journal.org](http://www.research-journal.org)

**№6 (48) 2016  
Часть 2  
Июнь**

Подписано в печать 17.06.2016.  
Тираж 900 экз.  
Заказ 26139  
Отпечатано с готового оригинал-макета.  
Отпечатано в типографии ООО "Компания ПОЛИГРАФИСТ",  
623701, г. Березовский, ул. Театральная, дом № 1, оф. 88.

Сборник по результатам LI заочной научной конференции International Research Journal.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Журнал имеет свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные тексты с указанием авторства без каких либо ограничений. Тип лицензии CC поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Журнал входит в международную базу научного цитирования **Agris**.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ПИ № ФС 77 – 51217**.

**Члены редколлегии:**

**Филологические науки:** Растягаев А.В. д-р филол. наук, Сложеникина Ю.В. д-р филол. наук, Штрекер Н.Ю. к.филол.н., Вербицкая О.М. к.филол.н.

**Технические науки:** Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Герасимова Л.Г., д-р техн. наук, Курасов В.С., д-р техн. наук, проф., Оськин С.В., д-р техн. наук, проф.

**Педагогические науки:** Лежнева Н.В. д-р пед. наук, Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Лукьянова М.И. д-р пед. наук.

**Психологические науки:** Мазилев В.А. д-р психол. наук, Розенова М.И., д-р психол. наук, проф., Ивков Н.Н. д-р психол. наук.

**Физико-математические науки:** Шамолин М.В. д-р физ.-мат. наук, Глезер А.М. д-р физ.-мат. наук, Свиштунов Ю.А., д-р физ.-мат. наук, проф.

**Географические науки:** Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к.техн.н. проф., Брылев В.А. д-р геогр. наук, проф., Огуреева Г.Н., д-р геогр. наук, проф.

**Биологические науки:** Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Аникин В.В., д-р биол. наук, проф., Еськов Е.К., д-р биол. наук, проф., Шеуджен А.Х., д-р биол. наук, проф.

**Архитектура:** Янковская Ю.С., д-р архитектуры, проф.

**Ветеринарные науки:** Алиев А.С., д-р ветеринар. наук, проф., Татарникова Н.А., д-р ветеринар. наук, проф.

**Медицинские науки:** Медведев И.Н., д-р мед. наук, д.биол.н., проф., Никольский В.И., д-р мед. наук, проф.

**Исторические науки:** Меерович М.Г. д-р ист. наук, к.архитектуры, проф., Бакулин В.И., д-р ист. наук, проф., Бердинских В.А., д-р ист. наук, Лёвочкина Н.А., к.ист.наук, к.экон.н.

**Культурология:** Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

**Искусствоведение:** Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

**Философские науки:** Петров М.А., д-р филос. наук, Бессонов А.В., д-р филос. наук, проф.

**Юридические науки:** Грудцына Л.Ю., д-р юрид. наук, проф., Костенко Р.В., д-р юрид. наук, проф., Камышанский В.П., д-р юрид. наук, проф., Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Ергашев Е.Р., д-р юрид. наук, проф.

**Сельскохозяйственные науки:** Важов В.М., д-р с.-х. наук, проф., Раков А.Ю., д-р с.-х. наук, Комлацкий В.И., д-р с.-х. наук, проф., Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Наумкин В.П., д-р с.-х. наук, проф.

**Социологические науки:** Замараева З.П., д-р социол. наук, проф., Солодова Г.С., д-р социол. наук, проф., Кораблева Г.Б., д-р социол. наук.

**Химические науки:** Абдиев К.Ж., д-р хим. наук, проф., Мельдешов А. д-р хим. наук.

**Науки о Земле:** Горяинов П.М., д-р геол.-минерал. наук, проф.

**Экономические науки:** Бурда А.Г., д-р экон. наук, проф., Лёвочкина Н.А., д-р экон. наук, к.ист.н., Ламоттке М.Н., к.экон.н.

**Политические науки:** Завершинский К.Ф., д-р полит. наук, проф.

**Фармацевтические науки:** Тринева О.В. к.фарм.н., Кайшева Н.Ш., д-р фарм. наук, Ерофеева Л.Н., д-р фарм. наук, проф.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

МОДИФИКАЦИЯ КРИТЕРИЯ КУЛОНА – МОРА ДЛЯ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСНЫХ ДОРОГ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ СДВИГУ. ЧАСТЬ 1. ВВОД ТРЕТЬЕГО ПАРАМЕТРА МАТЕРИАЛА .....	6
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭКСПРЕСС КОНТРОЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ В ЗЕМЛЯНОМ ПОЛОТНЕ ЛЕСНЫХ ДОРОГ. ЧАСТЬ 1. ОБОБЩАЮЩАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ .....	10
ОПИСАНИЕ ФРАГМЕНТА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИ ВЕРИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ .....	15
ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАНИПУЛЯТОРОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА МАТЕРИАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ .....	18
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАЗОГРЕВА ОСТАТКОВ ВЯЗКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРНАХ .....	26
СНИЖЕНИЕ ОБВОДНЕННОСТИ СКВАЖИН С ПОМОЩЬЮ ПОТОКООТКЛОНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ ВАНКОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ .....	33
МЕТОД ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГУБ ЧЕЛОВЕКА В ВИДЕОПОТОКЕ .....	38
МЕТОДЫ ПРЕССОВАНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ .....	40
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ СТРОИТЕЛЬНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ В УСЛОВИЯХ ПРЕРЫВИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ... ..	42
КРИТЕРИИ ВЫБОРА ИСТОЧНИКОВ СВЕТА ДЛЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК .....	49
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ОБОРУДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ (ГИБРИДНЫХ) СИСТЕМ АВТОНОМНОГО АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ .....	52
ПРИЁМНЫЙ ПОЛУКОМПЛЕКС СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕФТЕПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ .....	56
ЭРЕДИТАРНЫЙ ОСЦИЛЛЯТОР ДУФФИНГА С ЗАТУХАНИЕМ .....	59
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И РАСШИРЕНИЕ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ ИЗ ОВОЩЕЙ ДЛЯ ИНДУСТРИИ ПИТАНИЯ .....	65
ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАГРУЗКИ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПАРОКОНВЕКТОМатов .....	68
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ, ОБОГАЩЕННЫЕ НЕТРАДИЦИОННЫМИ РАСТИТЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ .....	72
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН .....	74
МНОГОАГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ СПОРТИВНОГО ЦЕНТРА .....	78
РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ .....	81
ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ЖАТКИ И ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ .....	84
МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ AVR-МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ .....	87
SOFTWARE AND HARDWARE SYSTEMS FOR SOUNDING METEOR TRAILS .....	95
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕГАЗАЦИОННОЙ ПОДГОТОВКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА БАЗЕ ОЦЕНКИ ИЗВЛЕКАЕМОСТИ МЕТАНА .....	98
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ .....	103
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНЕШНЕГО СГОРАНИЯ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ .....	108
ЭНЕРГИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В БАЛОЧНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ .....	110
РАЗРАБОТКА СХЕМ ЮСТИРОВКИ И КОНТРОЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО И ПЕЛЕНГАЦИОННОГО КАНАЛА ДЛЯ МОДУЛЯ МЕЖСПУТНИКОВОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ .....	114
ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РОТОРА НА ЕГО УРАВНОВЕШЕННОСТЬ .....	119
АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ СИММЕТРИЧНОГО КЛЮЧА В ОРГАНИЗАЦИИ .....	124



ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТОВОГО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА.....	126
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПЛАЗМЕННО-НАПЫЛЕННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ .....	130
ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ .....	135
ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	137
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ «ОСТАFLO EG» И «MAXFLIGHT 04» ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД.....	140
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ КОНТРОЛЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ ПРИ ЕЕ ДОБЫЧЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ.....	144
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА УГАРНОГО ГАЗА .....	148
DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL SERVICE FOR MONITORING OF A STATE OF HEALTH AND LEVEL OF PHYSICAL DEVELOPMENT OF STUDENTS OF THE UFA STATE AVIATION TECHNICAL UNIVERSITY .....	153
SOME ATTENTIONS ON STRUCTURAL DESIGN STANDARDS IN CURRENT CONDITIONS OF VIETNAM.	156
КРИТЕРИИ МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ФАКЕЛЬНОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГОРЕНИЯ.....	161
УСТОЙЧИВОСТЬ ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ К МИКРОМЕТЕОРИТНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ .....	165
СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ ЛЭП ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	170

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING**

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.169

Александров А.С.<sup>1</sup>, Долгих Г.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-2009-5361, <sup>1,2</sup>Кандидат технических наук,

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

**МОДИФИКАЦИЯ КРИТЕРИЯ КУЛОНА – МОРА ДЛЯ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСНЫХ ДОРОГ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ СДВИГУ. ЧАСТЬ 1. ВВОД ТРЕТЬЕГО ПАРАМЕТРА МАТЕРИАЛА****Аннотация**

*В статье выполнен вывод модифицированного условия пластичности Кулона – Мора, который в отличие от оригинального двухпараметрического критерия содержит третий параметр материала. Анализ экспериментальных данных по трехосному сжатию глинистых грунтов показал, что величина третьего параметра модифицированного критерия должна приниматься в зависимости от величины осевой деформации образца, принимаемой за предельное значение. Величину предельной деформации целесообразно принимать в пределах от 8 до 12 %.*

**Ключевые слова:** дорога, лесная дорога, грунт, дорожное покрытие, щебень.

Aleksandrov A.S.<sup>1</sup>, Dolgikh G.V.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-2009-5361, <sup>1,2</sup>PhD in Engineering,

Siberian State Automobile and Highway Academy

**MODIFICATION CRITERIA COULOMB - MOHR FOR CALCULATION OF CONSTRUCTION OF FOREST ROADS IN SHEAR RESISTANCE. PART 1 INTRODUCES A THIRD MATERIAL PARAMETERS****Abstract**

*This article gives an output of the modified conditions of the plasticity of the Coulomb - Mohr, which, unlike the original two-parameter criterion includes a third option of the material. Analysis of experimental data on the triaxial clay soils showed that the value of the third parameter of the modified criteria must be taken depending on the axial deformation of the specimen is taken as the limit. The value appropriate to take the ultimate strain in the range of 8 to 12%.*

**Keywords:** road, forest road, soil, pavement, crushed stone.

Одним из традиционных расчетов дорожных конструкций по критерию прочности является проверка земляного полотна и дополнительных слоев оснований дорожных одежд по сопротивлению сдвигу в грунте и слабосвязном материале, под которым понимают пески, применяемые в дренарующих слоях конструкции. Суть проверки сопротивления грунтов и материалов, относящихся к зернистой или сыпучей среде, состоит в сравнении касательных напряжений, возникающих от воздействия транспортной нагрузки, с предельными значениями этих напряжений.

В основе этого расчета применяется оригинальное условие пластичности Кулона – Мора. Предельная поверхность этого критерия, построенная в пространстве главных напряжений, является пирамидой, а проекция этой пирамиды на девиаторную представляет собой шестигранником с тремя углами сжатия и растяжения.

Параметры материала сцепление и угол внутреннего трения определяют на основе обработки данных трехосных испытаний. При трехосном испытании обязательно измеряют вертикальную деформацию образца, считая, что отказ образца происходит при его деформировании на величину  $\varepsilon_1=15\%$  или  $\varepsilon_1=20\%$ .

Из анализа этих предельных значений следует, что при возникновении в слое дорожной одежды или земляном полотне зоны предельного состояния глубиной 10 см осадка поверхности составит 15 – 20 мм. Такие деформации являются большими и превышают и не соответствуют требованиям, предъявляемым к глубине неровностей [1]. Поэтому возникает необходимость разработки специальных методов расчета дорожных конструкций по критериям ровности с возможностью прогнозирования необратимых деформаций [2] или совершенствования нормативного метода расчета дорожной конструкции по сопротивлению сдвигу. При этом решают две задачи. Во-первых, рассматривают возможность замены критерия Кулона – Мора другим условием пластичности с более высокими касательными напряжениями [3]. Во-вторых, разрабатывают методы расчета главных напряжений [4–6], которые являются альтернативой традиционным решениям [7], но не имеют недостатков последних.

По мнению автора, при совершенствовании расчета дорожной конструкции по сопротивлению сдвигу наиболее актуальной задачей является разработка нового условия пластичности. Экспериментальные данные, выполненные японскими специалистами, показывают, что площадки скольжения формируются вследствие локализации деформаций вдоль линий будущего сдвига [8]. На рис. 1 приведены этапы развития площадок скольжения, зафиксированные при испытании суглинка трехосным сжатием [9].

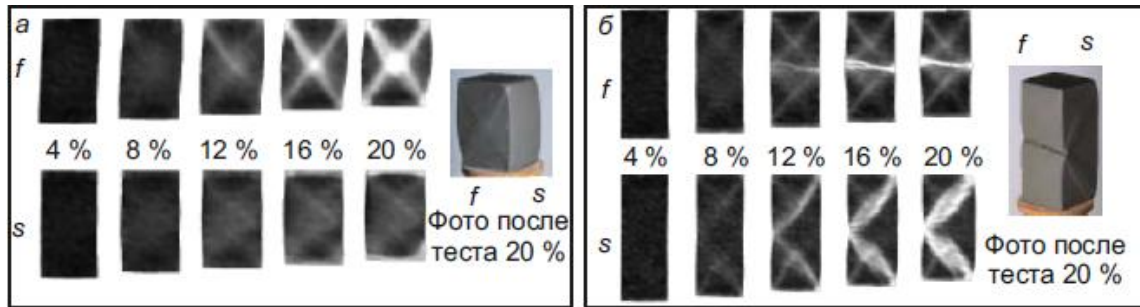


Рис. 1 – Этапы развития площадок скольжения при трехосном сжатии прямоугольных образцов суглинка с размерами: а 4×4×8 см; б 4×4×12 см

Ф. Ока и Ю. Хиго с соавторами [8, 9] сообщают, что первые признаки площадок скольжения наблюдаются при деформировании образцов на 8 %, а при деформации  $\varepsilon_1=12\%$  эти площадки уже полностью сформированы. Процесс зарождения и развития площадок скольжения проиллюстрирован на рис. 1, на котором наглядно видно, что при осевой деформации образца  $\varepsilon_1=8\%$  площадки скольжения едва различимы, а при деформировании на величину  $\varepsilon_1=12\%$  эти площадки уже отчетливо различимы. Дальнейшее деформирование происходит достаточно быстро, как правило, при незначительном увеличении девиатора напряжений  $\sigma_d=\sigma_1-\sigma_3$ . В этом случае образец из глинистого грунта либо приобретает деформацию  $\varepsilon_1=20\%$ , которая в зарубежных стандартах считается предельной, либо хрупко разрушается еще до деформирования на эту величину. В диапазоне деформаций  $\varepsilon_1=12-20\%$ , они связаны с напряжениями нелинейной зависимостью, вследствие чего можно сказать, что в этом диапазоне деформаций глинистые грунты текут. Следовательно, отказ образца следует принимать из условия его деформирования на величину  $\varepsilon_1=8-12\%$ . В работе [10] нами совместно с А.Л. Калининым рассматривалась возможность применения вместо критерия Кулона – Мора другого аналитического условия пластичности. Не вдаваясь в математические выкладки нецелесообразность такой замены можно продемонстрировать на основе сравнения предельных поверхностей критериев Кулона – Мора, Ладе – Дункана, Матцуока – Накаи и Друкера – Прагера на девиаторную плоскость [10]. Проекции предельных поверхностей этих условий пластичности, изображенные в девиаторном плане, приведены на рис. 2.

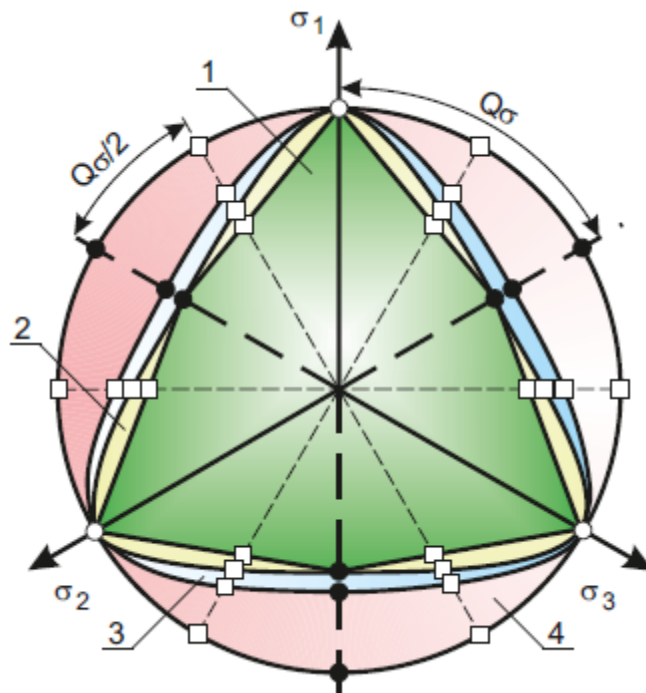


Рис. 2. – Критерии в девиаторном плане [10, с. 798]:

1 – Кулона – Мора; 2 – Матцуока – Накаи;  
3 – Ладе – Дункана; 4 – Друкера – Прагера

Рассматривая предельные поверхности аналитических условий пластичности на девиаторной плоскости (см. рис. 2), отметим, что они пересекаются с шестигранником Мора в его углах сжатия. То есть, в углах сжатия шестигранника Мора все условия пластичности дают одинаковый результат. Углам сжатия шестигранника Мора соответствуют напряженное состояние, характеризуемое главными напряжениями  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ , которое возникает по оси симметрии нагрузки, распределенной по круглой площадке. Именно это сечение принято специалистами дорожной отрасли в качестве расчетного при оценке устойчивости грунтов против сдвига. Отсюда вытекает, что для этого

сечения при напряженном состоянии  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$  замена критерия Кулона – Мора другим аналитическим условием пластичности нецелесообразна, по той причине, что все эти критерии дают одинаковый результат.

В работе [10] нами показано, что оригинальное условие Кулона – Мора можно сравнительно просто получить из критерия прочности О. Мора. Для этого достаточно выполнить подстановку в критерий Мора зависимостей, позволяющих вычислять пределы прочности на одноосное сжатие через параметры предельной прямой Кулона, под которыми понимают сцепление и угол внутреннего трения. В учебниках по дисциплине «сопротивление материалов» дают критерий О. Мора, записанный для растяжения, а в нашем случае этот критерий необходимо записать для сжатия. Поэтому рассматривая вывод модифицированного условия пластичности, оригинальный критерий прочности О. Мора запишем для растяжения и для сжатия. В этом случае наглядно иллюстрируется отличие форм записи этого критерия для сжатия и растяжения. Итак, соответственно при растяжении и сжатии предельное состояние по критерию О. Мора описывается уравнениями в виде:

$$\sigma_1 - k_{M\delta} \cdot \sigma_3 = R_{\delta}; \quad k_{M\delta} = R_{\delta} / R_{\tilde{n}}, \quad (1)$$

Где  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  – максимальное и минимальное главные напряжения (в данном случае напряжения растяжения), МПа;  $R_p$  и  $R_c$  – пределы прочности на сжатие и растяжение, МПа.

$$\sigma_1 - k_{Mc} \cdot \sigma_3 = R_c; \quad k_{Mc} = R_{\tilde{n}} / R_{\delta}. \quad (2)$$

Пределы прочности на одноосное сжатие и растяжение определяются через параметры предельной прямой Кулона – Мора по формулам

$$R_{\tilde{n}} = \frac{2 \cdot c \cdot \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} = 2 \cdot \tilde{n} \cdot \sqrt{\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}}; \quad R_{\delta} = \frac{2 \cdot c \cdot \cos \varphi}{1 + \sin \varphi} = 2 \cdot \tilde{n} \cdot \sqrt{\frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}}, \quad (3)$$

Где  $\varphi$  – угол внутреннего трения, °;  $c$  – сцепление, МПа.

Введем в зависимости (3) третий параметр  $d$ , так, что

$$R_c = 2 \cdot \tilde{n} \cdot \left( \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \right)^{2 \cdot d} = 2 \cdot \tilde{n} \cdot \left( \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right)^d. \quad (4)$$

$$R_{\delta} = 2 \cdot \tilde{n} \cdot \left( \frac{\cos \varphi}{1 + \sin \varphi} \right)^{2 \cdot d} = 2 \cdot \tilde{n} \cdot \left( \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right)^d. \quad (5)$$

Из анализа формул (5) и (6) следует, что  $d=0,5$  зависимости (4) и (5) приобретают вид традиционных формул (3), а при  $d=0$  выражения (4) и (5) преобразуются к виду

$$R_c = R_p = 2 \cdot c. \quad (6)$$

Таким образом, варьирование параметра  $d$  от 0 до 0,5 позволяет получать связь пределов прочности с параметрами предельной прямой Кулона – Мора, которая дает промежуточные результаты между вычисляемыми по зависимостям (3) и (6). Подставив выражения (4) и (5) в критерий Мора для сжатия (2), зависимости, получим [14].

$$\frac{1}{2} \cdot \left( \sigma_1 \cdot \left( \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right)^d - \left( \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right)^d \cdot \sigma_3 \right) = \tilde{n} \quad (7)$$

При  $d=0,5$  уравнение (7) приобретает вид оригинального критерия Кулона – Мора, при  $d=0$  зависимость (7) превращается в третью теорию прочности. Таким образом, уменьшение величины параметра  $d$  приводит к увеличению касательного напряжения, определяемого левой частью критерия (7).

Задачами последующих публикаций является анализ кругов предельных напряжения, построенных по уравнению (7) и разработка математической модели для определения зависимости параметра  $d$  от предельной осевой деформации образца.

### Литература

1. Герцог В.Н., Долгих Г.В., Кузин В.Н. Расчет дорожных одежд по критериям ровности. Часть 1. Обоснование норм ровности асфальтобетонных покрытий // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – №5 (57) – С. 45-57.
2. Семенова Т.В., Гордеева С.А., Герцог В.Н. Определение пластических деформаций материалов, используемых в дорожных конструкциях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – №4 (37). – С. 247-254.
3. Чусов В.В. Перспективы применения эмпирических условий пластичности грунтов и определение их параметров при трехосных испытаниях грунтов // Вестник ВолГАСУ. – 2015. № 4 (61). – С. 49-57.
4. Александров А.С., Александрова Н.П., Долгих Г.В. Модифицированные модели для расчета главных напряжений в дорожных конструкциях из дискретных материалов // Строительные материалы. – 2012. – № 10. – С. 14 – 17.
5. Александрова Н.П., Семенова Т.В., Долгих Г.В. Совершенствование моделей расчета главных напряжений и девиатора в грунте земляного полотна // Вестник СИБАДИ. – 2014. – № 2 (36). С. 49 – 54.
6. Александрова Н.П. Модифицированные модели для расчета главных напряжений в грунте земляного полотна // В сборнике: Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». Омск, 2013. С. 236 – 246.

7. Foster, C.R., Ahlvin R.G. Stresses and deflections induced by a uniform circular load. // Proc. Highway Research Board. – 1954. – Vol. 33. – P. 236-246.
8. Oka, F. Computational modeling of large deformations and failure of geomaterials. /XVI ICSMGE, Osaka 2005. – Millpress Vol. 1. – Pp. 47 – 94.
9. Higo, Y., et al. A three-dimensional elasto-viscoplastic strain localization analysis of water-saturated clay // Geo-Research Institute, Osaka, Japan. Vol. 86, 2006. – pp. 3205-3240.
10. Александров А.С., Калинин А.Л. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Часть 1. Учет деформаций в условии пластичности Кулона – Мора // Инженерно-строительный журнал. – 2015. № 7 (59). – С. 4 – 17.
11. Huang, W., Sloan, S., Fityus, S. Incorporating a predefined limit condition in a hypoplastic model by means of stress transformation // Mechanics of materials. 2008. Vol. 40. Pp. 796 – 802.

#### References

1. Gercog V.N., Dolgikh G.V., Kuzin V.N. Raschet dorozhnykh odezhd po kriteriyam rovnosti. Chast 1. Obosnovaniye norm rovnosti asfaltobetonnykh pokrytiy // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2015. № 5. Pp. 45 – 57.
2. Semenova T.V., Gordeeva S.A., Gercog V.N. Opredelenie plasticheskikh deformatsiy materialov, ispol'zuemykh v dorozhnykh konstrukciyakh // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2012. №4 (37). Pp. 247-254.
3. Chusov V.V. Perspektivy primeneniya jempiricheskikh uslovij plastichnosti gruntov i opredelenie ih parametrov pri trehsnykh ispytaniyakh gruntov // Vestnik VolGASU. 2015. № 4 (61). Pp. 49-57.
4. Aleksandrov A.S., Aleksandrova N.P., Dolgih G.V. Modificirovannye modeli dlja rascheta glavnykh naprjazhenij v dorozhnykh konstrukciyakh iz diskretnykh materialov // Stroitel'nye materialy. 2012. № 10. Pp. 14 – 17.
5. Aleksandrova N.P., Semenova T.V., Dolgih G.V. Sovershenstvovanie modelej rascheta glavnykh naprjazhenij i deviatora v grunte zemljanogo polotna // Vestnik SIBADI. 2014. № 2 (36). Pp. 49 – 54.
6. Aleksandrova N.P. Modificirovannye modeli dlja rascheta glavnykh naprjazhenij v grunte zemljanogo polotna // V sbornike: Arhitektura. Stroitel'stvo. Transport. Tehnologii. Innovacii Materialy Mezhdunarodnogo kongressa FGBOU VPO «SibADI». Omsk, 2013. Pp. 236 – 246.
7. Foster, C.R., Ahlvin R.G. Stresses and deflections induced by a uniform circular load. // Proc. Highway Research Board. – 1954. – Vol. 33. – P. 236-246.
8. Oka, F. Computational modeling of large deformations and failure of geomaterials. /XVI ICSMGE, Osaka 2005. – Millpress Vol. 1. – Pp. 47 – 94.
9. Higo, Y., et al. A three-dimensional elasto-viscoplastic strain localization analysis of water-saturated clay // Geo-Research Institute, Osaka, Japan. Vol. 86, 2006. – pp. 3205-3240.
10. Aleksandrov A.S., Kalinin A.L. Sovershenstvovanie rascheta dorozhnykh konstrukcij po soprotivleniju sdvigu. Chast' 1. Uchet deformatsij v uslovii plastichnosti Kulona – Mora // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2015. № 7 (59). Pp. 4 – 17.
11. Huang, W., Sloan, S., Fityus, S. Incorporating a predefined limit condition in a hypoplastic model by means of stress transformation // Mechanics of materials. 2008. Vol. 40. Pp. 796 – 802.



ПРИМЕР DOI:

10.18454/IRJ.2015.0001



Начиная с ноябрьского выпуска 2015 года /10 (41) Ноябрь 2015/, каждой статье, опубликованной в Международном научно-исследовательском журнале, **редакция издания будет присваивать идентификатор цифрового объекта DOI:**

- DOI облегчает процедуры цитирования, поиска и локализации научной публикации;
- DOI повышает авторитет журнала, а также свидетельствует о технологическом качестве издания;
- DOI является неотъемлемым атрибутом системы научной коммуникации за счет эффективного обеспечения процессов обмена научной информацией.

**(Digital Object Identifier)** — идентификатор цифрового объекта, стандарт обозначения представленной в сети информации.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.174

Александрова Н.П.<sup>1</sup>, Семенова Т.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-5534-6338, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-1921-8531, Кандидаты технических наук,

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

**СОВЕШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭКСПРЕСС КОНТРОЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ В ЗЕМЛЯНОМ ПОЛОТНЕ ЛЕСНЫХ ДОРОГ. ЧАСТЬ 1. ОБОБЩАЮЩАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ****Аннотация**

В публикации авторами проанализированы приборы и оборудование, применяемые непосредственно на строительной площадке при ускоренном измерении модуля упругости (деформации), и различных других показателей деформируемости и прочности грунтов, которые коррелируют с величиной коэффициента уплотнения. Решение обратной задачи, выполненное авторами, позволяет вычислять значения коэффициентов уплотнения грунта в земляном полотне в зависимости от измеренных характеристик. Раскрыт подход к математическому моделированию зависимости коэффициента уплотнения грунта от показаний приборов, применяемых при ускоренной оценке качества уплотнения грунта.

**Ключевые слова:** земляное полотно, грунт, коэффициент уплотнения.

Aleksandrova N.P.<sup>1</sup>, Semenova T.V.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-5534-6338, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-1921-8531, PhD in Engineering,

Siberian State Automobile and Highway Academy

**IMPROVEMENT OF METHODS FOR MONITORING THE EXPRESS COMPACTED SOIL SUBGRADE FOREST ROADS****Abstract**

The publication by the authors analyzed the instruments and equipment used at the construction site during acceleration measuring modulus of elasticity (strain), and various other indicators of strength and deformability of soils that correlate with the magnitude of the compaction factor. The solution of the inverse problem, made by the authors, allows to calculate the values of soil compacting subgrade coefficients depending on the measured characteristics. Disclosed is an approach to mathematical modeling of soil compaction factor depending on the readings used in the accelerated compacting soil quality assessment.

**Keywords:** roadbed, soil, compaction ratio.

Анализ результатов экспериментов показывает, что качество строительства земляного полотна и соблюдение требований по его уплотнению обуславливает величину механических характеристик грунтов, из которых оно построено [1, 2]. Авторы работы [1] выполнили математическое моделирование модуля упругости грунта, сцепления и угла внутреннего трения от коэффициента уплотнения и относительной влажности различных разновидностей грунтов, таких как суглинки и глины, пески, супеси. Из анализа этих эмпирических зависимостей следует, что значение любой механической характеристики грунта увеличивается при возрастании коэффициента уплотнения. Отметим, что параметры различных аналитических условий пластичности связаны с углом внутреннего трения и сцеплением.

В таблице 1 приведена одна из базовых форм записи оригинального критерия Кулона – Мора, а также наиболее часто применяемые условия пластичности грунтов и математические зависимости параметров грунта этих условий от сцепления и угла внутреннего трения. Из анализа выражений табл. 1, определяющих зависимость параметров различных условий пластичности от угла внутреннего трения и сцепления следует, что при увеличении сцепления и (или) угла внутреннего трения параметры материала любого грунтового условия пластичности возрастают. В связи с этим можно уверенно констатировать факт повышения сопротивления грунта сдвигу при увеличении коэффициента уплотнения. Аналогичный вывод можно сделать, анализируя параметры грунта, характеризующие его деформируемость. Это подтверждается тем, что любую упругую постоянную (модуль сдвига, постоянную Ламе) можно выразить через модуль упругости и коэффициент Пуассона. Так как модуль упругости увеличивается при возрастании коэффициента уплотнения, то и значение любой другой упругой постоянной будет увеличиваться при повышении степени уплотнения грунта в земляном полотне.

Таблица 1 – Аналитические условия пластичности

Авторы критерия	Математическая запись критерия и параметров
1. Кулон – Мор [3]	$\frac{1}{\cos \varphi} \cdot \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} - \operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = c,$ <p>где <math>\sigma_1</math> и <math>\sigma_3</math> – главные напряжения, соответственно максимальное и минимальное, Па; <math>\varphi</math> – угол внутреннего трения, град; <math>c</math> – сцепление, Па</p>
2. П. В. Ладе, Дж. М. Дункан [4]	$I_1^3 - k_1 \cdot I_3 = 0 \text{ или } I_1^3 / I_3 = k_1; \quad k_1 = \frac{(3 - \sin \varphi)^3}{(1 - \sin \varphi) \cdot \cos^2 \varphi},$ <p>где <math>I_1</math> и <math>I_3</math> – первый и третий инварианты тензора напряжений, Па и Па<sup>3</sup>; <math>k_1</math> – параметр Ладе – Дункана.</p>

Окончание табл. 1 – Аналитические условия пластичности

Авторы критерия	Математическая запись критерия и параметров
3. Н. Матцуока, Т. Накаи [5]	$I_1 \cdot I_2 - k_2 \cdot I_3 = 0 \text{ или } \frac{I_1 \cdot I_2}{I_3} = k_2; \quad k_2 = \frac{9 - \sin^2 \varphi}{1 - \sin^2 \varphi},$ <p>где <math>I_2</math> – второй инвариант тензора напряжений, Па<sup>2</sup>; <math>k_2</math> – параметр Матцуока – Накаи.</p>
4. Д. Друкер, В. Прагер для грунтов [3, 6]	$\sqrt{J_2} - \hat{\alpha} \cdot I_1 - k = 0 [3];$ $a = \frac{2 \cdot \sin \varphi}{\sqrt{3} \cdot (3 \pm \sin \varphi)}; \quad k = \frac{6 \cdot c \cdot \cos \varphi}{\sqrt{3} \cdot (3 \pm \sin \varphi)},$ <p>где <math>J_2</math> – второй инвариант девиатора эффективных напряжений, Па<sup>2</sup>; <math>a</math> и <math>k</math> – параметры Друкера – Прагера</p>

Автор монографии [7] сообщает, что при обеспечении сопротивления грунтов и гранулированных материалов сдвигу они работают в стадии уплотнения, а в публикациях [8, 9] сообщается, что зависимость деформаций уплотнения относительно количества реализованных транспортных нагрузок имеет затухающий характер. Из анализа данных работ [10, 11] следует, что при работе грунтов в этой стадии, испытываемые ими пластические деформации и компоненты тензора напряжений, связаны линейной зависимостью. Из изложенного анализа следует, что работы, преследующие цель совершенствования методов и методик контроля уплотнения грунтов в земляном полотне являются актуальной задачей дорожной отрасли и отраслей, в которых используются дороги специального назначения: лесные, сельскохозяйственные, нефтяных и газовых промыслов. Методы определения коэффициента уплотнения грунта в земляном полотне можно подразделить на точные и ускоренные (оперативные). Точные методы стандартизованы, они выполняются преимущественно в лаборатории, а ускоренные методы реализуются непосредственно на строительной площадке. Экспресс методы обладают минимальной трудоемкостью и высокой производительностью. Такое достоинство позволяет сгустить сетку определений коэффициента уплотнения и повысить надежность контроля.

Проанализировав материалы монографии [1] несложно убедиться, что показатели механических свойств грунта, характеризующие его деформируемость и прочность (сопротивление сдвигу) связаны с коэффициентом его уплотнения. Эмпирические формулы, полученные в работе [1] можно записать в общем виде, заменив численные значения параметров математических моделей буквенными обозначениями, подразумевая под ними некоторые функции от параметров, характеризующих вид и разновидность дисперсного грунта. Выполнив это действие, получим [12, 13]

$$E = a \cdot k_y^b \cdot e^{(c \cdot W^2 - d \cdot W)}; \quad c = f \cdot k_y^g \cdot e^{(h \cdot W - k \cdot W^2)}; \quad \varphi = l \cdot (1 - W) \cdot k_y^m, \quad (1)$$

где  $E$  – штамповый модуль упругости, МПа;  $k_y$  – коэффициент уплотнения;  $W$  – ( $W = W_e / W_t$ ) относительная влажность;  $W_e$  – влажность грунта;  $W_t$  – влажность на границе текучести;  $a, b, c, d, f, g, h, k, l$  и  $m$  – параметры материала или грунта.

В Российской Федерации и за рубежом разработано и производится большое количество разнообразных приборов для определения параметров деформируемости и сопротивления грунта сдвигу, к которым относятся: кратковременный штамповый модуль упругости (деформации), сопротивление недренированному сдвигу (недренированная прочность), калифорнийское число несущей способности, сцепление и угол внутреннего трения. Оборудование, предназначенное для вычисления модуля упругости по результатам измерения динамических осадок, называют установками динамического нагружения. Наибольшая часть такого оборудования производится за рубежом и работает на импортном программном обеспечении. Особенностью таких приборов является то, что вычисляемый коэффициент уплотнения вычисляется по экспериментальным данным, полученным при лабораторных тестах по методу Р. Проктора. Такие тесты подразделяются на три типа  $A, B$  и  $C$ , каждый из которых соответствует определенной разновидности грунта. Один из таких приборов проиллюстрирован на рис. 1.





Рис. 1 – Иллюстрация испытания грунта установкой динамического нагружения ZFG 3000 GPS к испытанию

Другим вариантом приборов, устанавливаемых на поверхность земляного полотна, являются измерители жесткости, по показаниям которых вычисляется модуль упругости. Измерители жесткости грунта создают на грунтовой поверхности вибрацию и измеряют осадку грунта, которая пересчитывается в показания этого прибора. Показания измерителя жесткости используются для вычисления модуля деформации (упругости грунта). Измеритель жесткости грунта (GeoGauge) является одним из таких полевых приборов, он иллюстрируется на рис. 2.



Рис. 2 – Испытание измерителем жесткости GeoGauge

Так же для определения механических параметров грунта и его коэффициента уплотнения могут быть применены динамические и статические пенетрометры. Показания динамических пенетрометров основаны на измерении либо глубины проникновения конуса от одного удара, либо числа ударов, при нанесении которых конус погружается на заданную глубину. На рис. 3 приведена иллюстрация оригинального динамического конусного пенетрометра, применяемого для оценки качества уплотнения грунтов и показателей его прочности и деформируемости в США.





Рис. 3 – Иллюстрация испытаний грунта динамическим конусным пенетрометром DCP

Учитывая такое многообразие приборов и оборудования для определения коэффициента уплотнения в полевых условиях, подчеркнем актуальность разработки обобщающей математической модели, устанавливающей зависимость коэффициента уплотнения от модуля упругости и относительной влажности. Подстановка в такую обобщающую модель эмпирических формул, предназначенных для расчета модуля упругости от показаний определенного прибора, позволит произвести вычисление коэффициента уплотнения по показаниям этого прибора. Анализируя формулы (1), нетрудно заметить, что коэффициент уплотнения может быть вычислен по обобщающей зависимости

$$k_y = b \sqrt{\frac{E}{a \cdot e^{(c \cdot W^2 - d \cdot W)}}} \quad (2)$$

Относительной влажностью удобно оперировать при проектировании дорожных одежд, а при контроле качества уплотнения грунтов наиболее рационально пользоваться оптимальной влажностью  $W_o$  или коэффициентом увлажнения  $k_{увл}$ . Эти параметры можно вычислить по формулам

$$k_{увл} = \frac{We}{W_o}; \quad W_o = \alpha \cdot W_T, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент перехода от оптимальной влажности к влажности на границе текучести.

Используя выражения (3) в зависимости (2), можно получить формулу

$$k_y = b \sqrt{\frac{E}{a \cdot e^{(c \cdot \alpha^2 \cdot k_{увл}^2 - d \cdot \alpha \cdot k_{увл})}}} \quad (4)$$

Зависимость (4) является обобщающей моделью для определения коэффициента уплотнения грунта по данным приборов измеряющих штамповый модуль упругости. Из этой зависимости выводится все частные формулы, позволяющие выполнять оценку степени уплотнения грунта на строительной площадке.

Частные модели расчета коэффициента уплотнения авторы приведут в последующих публикациях.

#### Литература

1. Сиденко В.М., Батраков О.Т., Покутнев Ю.А. Дорожные одежды с парогидроизоляционными слоями. – М.: Изд-во Транспорт, 1984. – 142 с.
2. Строкова, Л.А. Учет переуплотнения грунтов в расчетах оседания земной поверхности при сооружении туннелей / Л.А. Строкова // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 1. – С. 147 – 151.
3. Болдырев, Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса. – Пенза: ПГУАС, 2008. – 696 с.
4. Lade P.V., Duncan J.M. Elastoplastic stress-strain theory for cohesionless soil / Journal. Geotechnical Engineering Division, ASCE. – Vol. 101. – No. 10. – 1975. – P. 1037-1053.
5. Matsuoka H., Nakai T. Relationship among Tresca, Mises, Mohr–Coulomb and Matsuoka–Nakai failure criteria. // SOILS AND FOUNDATION. – 1985. – Vol.25, No 4. – Pp. 123-128.
6. Drucker D.C., Prager W. Soil mechanics and plastic analysis of limit design. Quarterly of applied mechanics. 1952. Vol. 10. №2. pp. 157 – 165.

7. Александров, А.С. Применение теории наследственной ползучести к расчету деформаций при воздействии повторных нагрузок / А.С. Александров. – Омск: СибАДИ, 2014. – 152 с.
8. Hu M. att all. Stress-induced anisotropy in sand under cyclic loading // *Granular Matter*. – 2010. – Vol. 12. – Pp. 469–476.
9. Wichtmann T., Niemunis A. Triantafyllidis Th. Strain accumulation in sand due to drained cyclic loading: on the effect of monotonic and cyclic preloading (Miner's rule) // *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2010. Vol.30, No8, Pp.736 – 745.
10. Долгих, Г.В. Расчет грунтов земляного полотна по критерию безопасных давлений / Г.В. Долгих // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии / СибАДИ. – Омск: СибАДИ, 2013. – Вып. 6 (34). – С.43–49.
11. Александров, А.С. О допускаемых давлениях на грунты земляного полотна и слою дорожной одежды / А.С. Александров, Г.В. Долгих, А.Л.Калинин // Наука и техника в дорожной отрасли, 2012, № 2. – С. 10-13.
12. Александрова, Н.П., Применение измерителя жесткости грунта Geogauge для оценки качества уплотнения при операционном контроле / Н.П. Александрова, Н.А. Троценко // Вестник СибАДИ, 2014, № 3 – С. 40 – 47.
13. Александрова, Н.П. Совершенствование методов экспресс оценки качества уплотнения грунтов земляного полотна строительства автомобильных дорог / Н.П. Александрова, Т.В. Семенова, К.Ю. Стригун // Вестник СибАДИ. – 2015. – № 4. – С. 46-57.

#### References

1. Sidenko V.M., Batrakov O.T., Pokutnev Ju.A. Dorozhnye odezhdyy s parogidroizoljacionnymi slojami. M. : Izd-vo Transport, 1984. – 142 p. (rus).
2. Strokova L.A. Uchet pereuplotneniya gruntov v raschetakh osedaniya zemnoi poverkhnosti pri sooruzhenii tunnelei [Accounting soil overconsolidation in calculations of earth surface settlement at tunnel construction]. *Bulletin Of The Tomsk Polytechnic University*. 2010 Vol. 316. No. 1. Pp. 147 – 151. (rus).
3. Boldyrev, G.G. Metody opredeleniya mekhanicheskikh svoystv gruntov. Sostojanie voprosa. – Penza: PGUAS, 2008. – 696 p. (rus).
4. Lade P.V., Duncan J.M. Elastoplastic stress-strain theory for cohesionless soil / *Journal. Geotechnical Engineering Division, ASCE*. – Vol. 101. – No. 10. – 1975. – P. 1037-1053.
5. Matsuoka H., Nakai T. Relationship among Tresca, Mises, Mohr–Coulomb and Matsuoka–Nakai failure criteria. // *SOILS AND FOUNDATION*. – 1985. – Vol.25, No 4. – Pp. 123-128.
6. Drucker D.C., Prager W. Soil mechanics and plastic analysis of limit design. *Quarterly of applied mechanics*. 1952. Vol. 10. №2. pp. 157 – 165.
7. Aleksandrov A.S. Primenenie teorii nasledstvennoi polzuchesti k raschetu deformatsii pri vozdeistvii povtornykh nagruzok [Application of hereditary creep theory to the calculation of deformation when subjected to repeated loads]. *Omsk : SibADI*, 2014. – 152 p. (rus).
8. Hu M. att all. Stress-induced anisotropy in sand under cyclic loading // *Granular Matter*. – 2010. – Vol. 12. – Pp. 469–476.
9. Wichtmann T., Niemunis A. Triantafyllidis Th. Strain accumulation in sand due to drained cyclic loading: on the effect of monotonic and cyclic preloading (Miner's rule) // *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2010. Vol.30, No8, Pp.736 – 745.
10. Dolgikh, G.V. Raschet gruntov zemlyanogo polotna po kriteriyu bezopasnykh davlenii [Calculation of subgrade soil by criteria of safety pressures]. *Vestnik SibADI*. 2013. Vol. 6 (34). Pp. 43–49. (rus).
11. Aleksandrov A.S., Dolgikh G.V., Kalinin A.L. O dopuskaemykh davleniyakh na grunty zemlyanogo polotna i sloi dorozhnoi odezhdyy [About permitted ground pressure of subgrade and pavement layers]. *Science & Engineering for Roads*. 2012, No. 2. Pp. 10-13. (rus).
12. Aleksandrova N.P., Trotsenko N.A. Primenenie izmeritelya zhestkosti grunta Geogauge dlya otsenki kachestva uplotneniya pri operatsionnom kontrole. [Applying the soil's rigidimeter Geogauge for assessment of consolidation's quality at operational control]. *Vestnik SibADI*. 2014, No. 3. Pp. 40 – 47. (rus).
13. Aleksandrova N.P., Semenova T.V., Strigun K.Yu. Sovershenstvovanie metodov ekspress otsenki kachestva uplotneniya gruntov zemlyanogo polotna stroitel'stva avtomobil'nykh dorog [Improving the methods for express evaluation of the quality of a road bed's soil compaction during construction of automobile roads] *Vestnik SibADI*. 2015. No. 4 (44). Pp. 46-57. (rus).

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.144

Амачиев Л.А.<sup>1</sup>, Феофанов А.Н.<sup>2</sup><sup>1</sup>Аспирант,<sup>2</sup>доктор технических наук

ФГБОУ ВПО МГТУ «Станкин», Москва

**ОПИСАНИЕ ФРАГМЕНТА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИ ВЕРИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ***Аннотация*

В данной статье приведен способ обработки данных, полученных на контрольно-измерительной позиции, описаны языки веб-программирования, необходимые для решения задачи повышения производительности и сокращения человеческих ресурсов. В статье рассмотрены аспекты совместного использования языков программирования, синтаксис которых лежит в основе создания фрагмента программного обеспечения для автоматизированной обработки данных. Приведено описание взаимодействия пользователя с базой данных через веб-интерфейс.

**Ключевые слова:** автоматизированные системы, база данных, база знаний.

Amachiev L.A.<sup>1</sup>, Feofanov A.N.<sup>2</sup><sup>1</sup>Postgraduate student,<sup>2</sup>PhD in Engineering,

Moscow State University of Technology «Stankin»

**DESCRIPTION OF THE PIECE OF SOFTWARE FOR THE AUTOMATED PROCESSING OF DATA FOR VERIFICATION OF ELECTRONIC PRODUCTS***Abstract*

This article provides a method of processing data obtained at measuring positions described languages of the web programming needed to solve the problem of increasing performance and reducing human resources. The article discusses aspects of the joint use of programming languages, the syntax of which is the basis of creating a piece of software for automated data processing and management of data from the database. This article also describe to the user interaction with the database through a web interface.

**Keywords:** automated systems, databases, knowledge bases.

**Введение**

В настоящее время актуальной задачей является обеспечение импортозамещения электронных изделий. Решение задачи предполагает, что показатели качества и объем выпускаемой продукции будут удовлетворять условиям современного отечественного рынка.

Гибкая автоматическая линия (ГАЛ) – линия, которая может обрабатывать в соответствии со своими техническими характеристиками новую номенклатуру, не известную на стадии создания (проектирования) линии, но аналогичную по технологическим возможностям и точностям обработки, принятой при проектировании.

Гибкие производственные системы (ГПС) – совокупность металлообрабатывающего и вспомогательного оборудования (транспортного, накопительного, погрузочно-разгрузочного и т.п.), работающего в автоматическом режиме и с единой системой управления в условиях многономенклатурного производства. В состав ГПС входит несколько обрабатывающих центров универсального или специального исполнения. Разное время обработки деталей на станках компенсируется наличием централизованных или децентрализованных складов. Перемещение заготовок и полуфабрикатов осуществляется по схеме «станок – склад – станок»;

Цель написания статьи – предложить метод обработки электронных данных, за счет которого будут улучшены следующие показатели производства:

- снижение нагрузки на операторов автоматизированного технологического оборудования (АТО);
- повышение производительности АТО.

В настоящее время существуют методы обработки выходных данных контрольно-измерительных машин. В результате мониторинга изделий, операторы АТО получают протоколы, информация из которых обрабатывается вручную. Представленный в статье метод имеет отличие, заключающееся в снижении человеческого фактора и переносе основной нагрузки при работе с результатами мониторинга на возможности вычислительной техники.

**Описание изделия**

Блок регистрации передачи данных (БРПД) является одним из значимых изделий в вычислительной технике, поскольку с помощью него происходит соединение и передача данных от одного интерфейса к другому. БРПД представляет собой конструктивно-законченное изделие, предназначенное для применения в качестве бортовой техники, обеспечивающей: прием данных по проводным и беспроводным интерфейсам; передачу данных по проводным и беспроводным интерфейсам; обработку принятой информации с использованием вычислительных средств системы; сохранение информации на съемных носителях данных; мониторинг внешних факторов, поддерживаемых системными датчиками.

Лицевая панель БРПД оснащена множеством выходов для обеспечения питания электронной машины и ее сопряжения с другими вычислительными устройствами.

Состоит она из следующих элементов (рис. 1): 1-6. Разъемы CAN-интерфейсов; 7. Разъем для подключения монитора «LVDS»; 8, 9. Разъемы последовательных портов RS485; 10. Разъем питания «PRW»; 11. Разъем для подключения монитора VGA; 12-14. Разъемы для LAN подключения; 15. Светодиодный индикатор наличия питания «PWR»; 16. Светодиодный индикатор работы системы подогрева; 17. Индикаторы с вывода «DIGITAL Out».

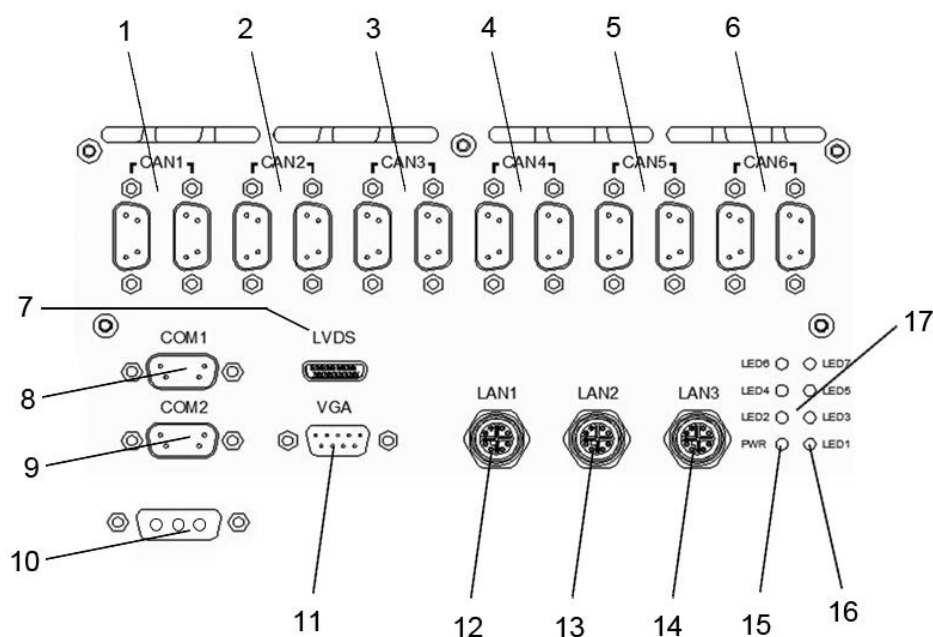


Рис. 1 – Внешний вид БРПД и расположение основных элементов

### Описание выходных данных системы оптической автоинспекции

После завершения контроля изделий результаты мониторинга образуют протокол операций, который в дальнейшем может быть использован для осуществления процедуры верификации БРПД. Данные протокола автоматически регистрируются в базе данных. Вид протокола представлен на рисунке 2.

Вид испытания	Конфигурация оборудования	Тест	Критерий прохождения теста	Результат	Примечание
<b>VGA</b>	OS: FreeDOS Подключен кабель VGA Тест: VGATEST.EXE	Загрузка ОС и запуск теста VGATEST.EXE Отображение градиента Отображение матрицы цветов	Отображение градиента и матрицы цветов без искажений и рассинхронизации	Успешно Успешно Успешно Успешно	Запуск при температуре -45°C (Время разогрева системы 3 мин.) Запуск при температуре -29°C Запуск при температуре +65°C Запуск при температуре +70°C

Рис. 2 – Форма протокола исследования характеристик БРПД

Полученные сведения в дальнейшем применяются для осуществления процедуры верификации изделий.

Верификация БРПД осуществляется путем сравнения данных из заявки заказчика с результатами мониторинга. Таким образом, определена необходимость создания специальной формы, с помощью которой заказчик сможет вносить изменения в базу данных, а так же добавлять в нее новую информацию. Оптимальным решением этой задачи является применение языковых средств php и SQL-запросов.

### Описание языков SQL и PHP

SQL (англ. Structured query language — «язык структурированных запросов») – формальный непроцедурный язык программирования, применяемый для создания, модификации и управления данными в произвольной реляционной базе данных, управляемой соответствующей системой управления базами данных (СУБД). SQL основывается на исчислении кортежей.

SQL является языком программирования, который необходим для создания, обновления и управления информацией в БД, которая, в свою очередь, управляется с помощью системы управления базами данных. С помощью SQL-запросов становится возможным производить следующий основной набор операций: создание новых ячеек или таблиц в БД; создание в БД новых записей; внесение изменений в записи; удаление записей; проведение выборки отдельных данных из БД, которая подчиняется определенному установленному принципу; внесение изменений в структуру таблицы.

Язык SQL решает задачу обработки информации в веб-среде, поскольку предусматривает работу с числами, произведение элементарных операций, необходимых для осуществления процедуры верификации изделий. Для обеспечения взаимодействия пользователя с БД, актуальным является использование возможностей языка веб-программирования PHP.

PHP (англ. PHP: Hypertext Preprocessor — «PHP: препроцессор гипертекста»; первоначально Personal Home Page Tools) – скриптовый язык общего назначения, интенсивно применяемый для разработки веб-приложений.

PHP является языком веб-программирования, который позволяет генерировать HTML-страницы на сервере и производить работу с базами данных (БД). В настоящее время используется, как основной инструмент для разработки веб-приложений.

Одним из главных преимуществ языка PHP является его гибкость, позволяющая взаимодействовать с разметкой HTML и языком SQL-запросов. Таким образом, разработчик имеет возможность для создания комфортного веб-интерфейса и обеспечения взаимодействия с таблицами БД.

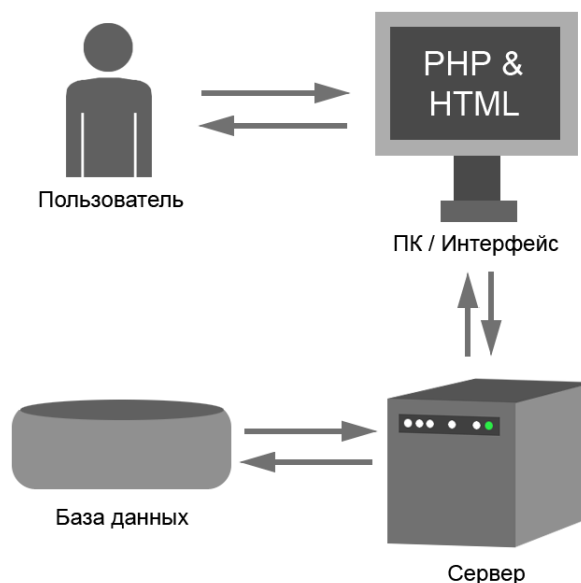


Рис. 3 – Описание взаимодействия пользователя с базой данных

Особенностью языка PHP является его зависимость от источника обработки запросов скрипта. В современных компьютерах, как и в устройствах предыдущих поколений, отсутствует встроенное по умолчанию приложение, позволяющее обрабатывать PHP-запросы. Поэтому обязательным условием является наличие сервера (или симулятора сервера), обладающего встроенными компонентами для обработки скриптов.

Обращение к серверу происходит всегда, даже при отсутствии необходимости в работе с базами данных. Важной составляющей в работе с PHP-скриптами являются формы.

Формы – теги HTML разметки, позволяющие создавать визуальные элементы в окне браузера для обмена информацией между пользователем и сервером. Компонент включает в себя множество атрибутов, использование которых позволяет создать полноценный интерфейс для:

- Создания новых записей в БД;
- Редактирования информации в БД;
- Удаления информации из БД.

### Заключение

Работа с данными протокола предполагает использование средств языков программирования для автоматизированной обработки выходной информации.

PHP-документ определяет, какой тип запроса отправляется на сервер, но для базы данных используются собственные языковые инструменты — SQL запросы. Возможности HTML-разметки позволяют упорядочить данные из БД для удобства работы операторов АТО. Реализация данного интерфейса позволит сравнить данные из заявки заказчика и результаты мониторинга при помощи PHP-скриптов. Таким образом, снижается нагрузка на операторов АТО за счет автоматизированной обработки информации, полученной на выходе.

### Литература

1. Евдокимов С.А., Григорьев И.В., Краснов А.А. и др. Создание компьютерной базы знаний для работы с нормативно-справочной информацией в машиностроении / CAD/CAM/CAE Observer, №1, 2010
2. Научная брошюра предприятия ЗАО «ОСТЕК», Новая экономическая система автоматической оптической инспекции VT9500ЕС – 27 с.
3. Феофанов, А.Н. Гибкие автоматические линии в машиностроении. [Текст] //– М.: «Янус-К», 2002, 192 с.
4. [Электронный ресурс] / Энциклопедия «Википедия» - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/>, свободный. (Дата обращения: 28.12.2015 г.). - Подробнее на [ru.wikipedia.org/wiki/PHP](https://ru.wikipedia.org/wiki/PHP)
5. [Электронный ресурс] / Веб-учебник «htmlbook» - Режим доступа: <http://htmlbook.ru/>, свободный. (Дата обращения: 28.12.2015 г.). - Подробнее на [htmlbook.ru/HTML/form](http://htmlbook.ru/HTML/form)
6. Введение в реляционные базы данных / В. В. Кириллов, Г. Ю. Громов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2009. — 464 с.: ил. + CD-ROM — (Учебная литература для вузов) – 453 с.
7. Феофанов А. Н. Технологическое оборудование автоматизированных машиностроительных производств / М.: ФГБОУ ВПО МГТУ «Станкин», 2012. – 317 с.

## References

1. Evdokimov S.A., Grigor'ev I.V., Krasnov A.A., i dr. Sozdanie komp'juternoj bazy znaniy dlja raboty s normativno-spravocnoy informaciej v mashinostroenii / CAD/CAM/CAE Observer, №1, 2010
2. Nauchnaja broshjura predpriyatija ZAO «OSTEK», Novaja jekonomicheskaja sistema avtomaticheskoy opticheskoy inspekcii VT9500EC – 27 s.
3. Feofanov, A.N. Gibkie avtomaticheskie linii v mashinostroenii. [Tekst] //– M.: «Janus-K», 2002, 192 s.
4. [Elektronnyj resurs] / Jenciklopedija «Vikipedija» - Rezhim dostupa: <https://ru.wikipedia.org/>, svobodnyj. (Data obrashhenija: 28.12.2015 g.). - Podrobnее na [ru.wikipedia.org: https://ru.wikipedia.org/wiki/PHP](https://ru.wikipedia.org/wiki/PHP)
5. [Elektronnyj resurs] / Veb-uchebnik «htmlbook» - Rezhim dostupa: <http://htmlbook.ru/>, svobodnyj. (Data obrashhenija: 28.12.2015 g.). - Podrobnее na [htmlbook.ru: http://htmlbook.ru/HTML/form](http://htmlbook.ru/HTML/form)
6. Vvedenie v reljacionnye bazy dannyh / V. V. Kirillov, G. Ju. Gromov. — SPb.: BHV-Peterburg, 2009. — 464 s.: il. + CD-ROM — (Uchebnaja literatura dlja vuzov) – 453 s.
7. Feofanov A. N. Tehnologicheskoe oborudovanie avtomatizirovannyh mashinostroitel'nyh proizvodstv / M.: FGBOU VPO MGTU «Stankin», 2012. – 317 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.156

Арабов Д.И.<sup>1</sup>, Колесников М.А.<sup>2</sup>, Юдин А.В.<sup>3</sup><sup>1</sup>Ассистент,<sup>2</sup>студент,<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-9114-0855, инженер

Московский государственный технический университет им.Н.Э.Баумана

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАНИПУЛЯТОРОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
НА МАТЕРИАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

## Аннотация

*В данной работе представлена концепция воссоздания виртуальных изображений на материальной плоскости посредством управляемых манипуляторов, для работы которых было разработано специальное программное обеспечение и алгоритмы управления. В качестве исполнительного механизма манипулятора, на примере которого производится рассмотрение данной концепции, используются сервоприводы. Для них также представлен принцип работы, на основании которого создана система управления с использованием отрицательной обратной связи, и проведен сравнительный анализ и экспериментальная оценка эффективности различных управляющих алгоритмов: с использованием ООС и без нее. Также в работе рассмотрен вопрос применимости подобных манипуляторов в структуре FAB LAB и в условиях персонального цифрового производства и возможность универсализации данной концепции и ее применимости к любым мехатронным системам на основе сервоприводов.*

**Ключевые слова:** FAB LAB, манипуляторы, управление, сервопривод, интерфейс, цифровое производство, автоматизация, мехатроника, ШИМ, Squeak, Smalltalk.

Arabov D.I.<sup>1</sup>, Kolesnikov M.A.<sup>2</sup>, Yudin A.V.<sup>3</sup><sup>1</sup>Assistant,<sup>2</sup>student,<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-9114-0855, Engineer

Bauman Moscow State Technical University

## MANIPULATOR DESIGN FOR VIRTUAL IMAGE FORMATION ON A MATERIAL PLANE

## Abstract

*This paper describes the concept of reproducing virtual images on a material plane by means of controlled manipulators, which special software and control algorithms have been developed for. Servos are used as the manipulator mechanism, which sample this concept is considered. Working principle is also introduced for them, based on which a control system using negative feedback was designed, and a comparative analysis and experimental evaluation of the efficiency of different control algorithms: with using of negative feedback and without it. The applicability of these manipulators in the FAB LAB structure and in terms of personal digital fabrication and the possibility of universalization of the concept and its applicability to any mechatronic system based on servos are also considered in this paper.*

**Keywords:** FAB LAB, manipulator, control, servo, interface, digital fabrication, automation, mechatronics, PWM, Squeak, Smalltalk.

## Введение

Создание виртуальных изображений на материальной плоскости заключается в графическом воспроизведении файла, содержащего исполняемый рисунок, посредством исполнительных механизмов, перемещающих пишущий элемент. Данный принцип широко применяется в современном мире [1-11]: от печати документов на принтере до создания рисунков печатных плат посредством фрезеровального станка. Рассматриваемый принцип позволяет получить наглядное представление обрабатываемой графической информации заданного масштаба и точности, однако из-за сложности и габаритов оборудования данная технология не является достаточно мобильной и универсальной, так как большинство станков служат для выполнения одной конкретной задачи и их перепрофилирование зачастую не представляется возможным.

В настоящее время для решения задач персонального цифрового производства представлен широкий выбор разнообразного оборудования: от станков лазерной резки до 3D-принтеров [3]. В данной статье будет рассмотрен



вопрос создания multifunctional оборудования [2] на примере разработки системы управления для устройства по созданию виртуальных изображений.

В данной работе предложен новый способ управления системой, основанной на сервоприводах, отличающийся от известных тем, что данный алгоритм учитывает влияние отрицательной обратной связи на уровне микроконтроллера, объединяющего всю систему, а не только в рамках блока управления каждого отдельного сервопривода. Это позволяет решить проблему увеличения точности и взаимосвязи между отдельными элементами системы, а также упрощает возможность изменения конфигурации оборудования, что в свою очередь приводит к увеличению технологичности всего производственного цикла при штучном и мелкосерийном производстве [9].

### 1 Аппаратно-программные средства регулирования положения пишущего элемента

Основным инструментом регулирования положения пишущего элемента является сервопривод. Соответственно, система управления на примере приведенного выше устройства основывается на системе управления сервоприводом, для построения которой необходимо в первую очередь проанализировать принцип работы движка. Общий вид системы представлен на рис.1.

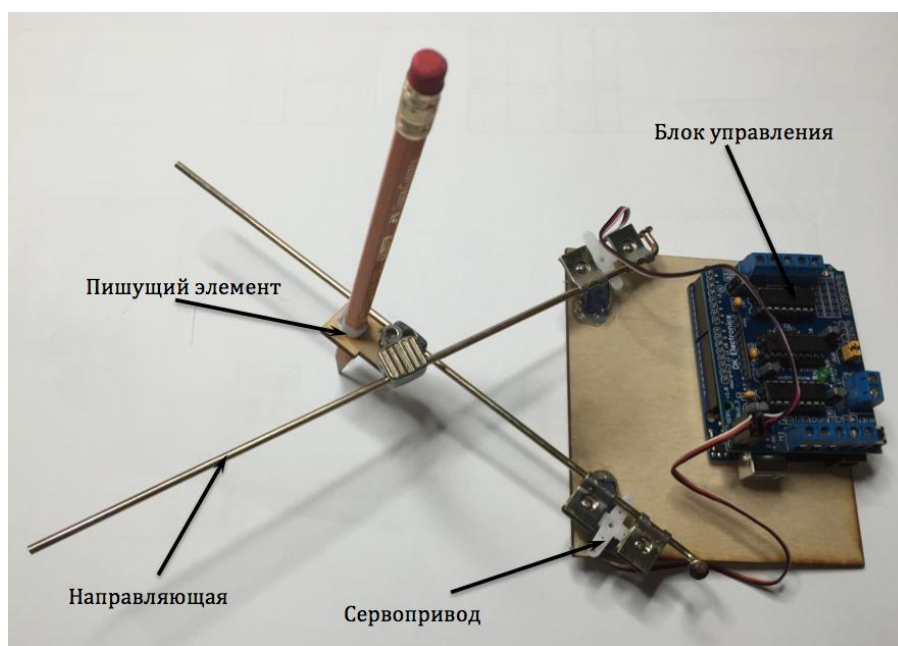


Рис. 1– Общий вид устройства по воспроизведению изображений на плоскости

Все сервоприводы имеют одинаковую структуру и состоят из следующих основных частей: блок управления, преобразующий сигналы с контроллера в напряжение на двигателе и считывающий его текущее положение, мотора с редуктором и потенциометра, механически соединенного с выходным валом и обеспечивающего обратную связь (рис.2).

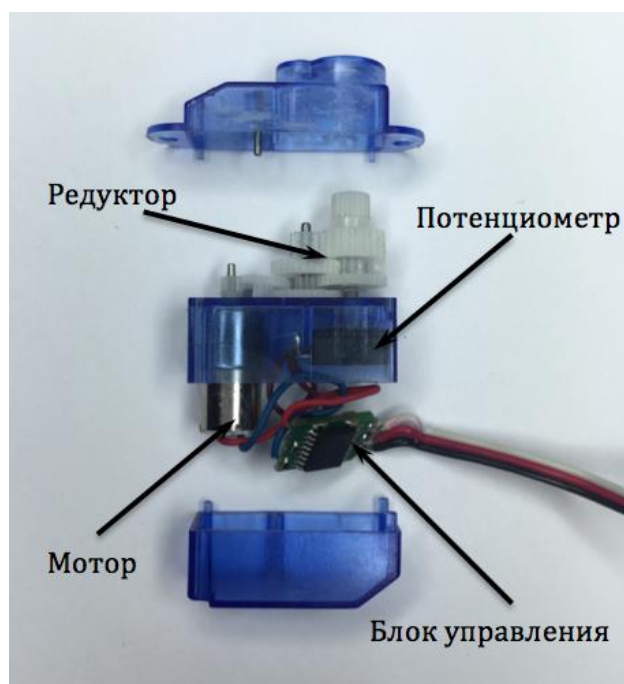


Рис. 2 – Структура сервопривода

Для управления сервоприводами служит ШИМ-сигнал (рис.3), представляющий собой прямоугольный импульс, длительность которого определяет угол поворота выходного вала. Период  $T$  такого сигнала составляет 20 мс, а длительность импульса от 0,8 до 2,2 мс, что соответствует крайним положениям выходного вала в  $0^\circ$  и  $180^\circ$  соответственно. Изменение угла поворота в этих пределах линейно зависит от длительности  $\tau - \frac{\varphi(\tau)}{d\tau} = const$ . Во встроенной в сервопривод схеме управления поступающий прямоугольный сигнал преобразуется в опорное напряжение (1), сравнивающееся с напряжением на потенциометре. При наличии разностного сигнала, на двигатель подается напряжение соответствующей полярности.

$$U = \frac{\int_{t_0}^{t_2} u(t) dt}{t_2 - t_0} \quad (1)$$

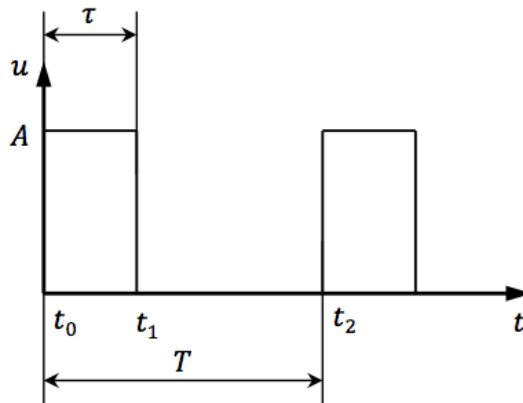


Рисунок 3 – Управляющий ШИМ-сигнал

Функция  $u(t)$  описывает ШИМ-сигнал и определяется как:

$$u(t) = \begin{cases} A, & t_0 \leq t < t_1 \\ 0, & t_1 \leq t < t_2 \end{cases}$$

где  $A$  – амплитуда импульса, определенная для каждой конкретной модели. При подаче на сервопривод некорректного сигнала (неподходящий период  $T$  или амплитуда  $A$ ), его поведение будет зависеть от алгоритмов, заложенных в блоке управления.

Все сервоприводы имеют встроенную петлю отрицательной обратной связи<sup>[18]</sup> (ООС), позволяющую в рамках самого движка поддерживать заданное значение угла поворота. Существенный недостаток такой петли в том, что она является «закрытой» и обратная связь по отношению к микроконтроллеру отсутствует. Такое управление сервоприводом, когда микроконтроллер не имеет информации о положении выходного вала, а только посылает управляющие команды, не позволяет добиться высокой точности позиционирования. Особенно большие рассогласования желаемого и действительного значений будут возникать при интенсивной работе сервопривода, что может оказать серьезное негативное воздействие на конечный результат и, следовательно, крайне нежелательно в робототехнике.

Для устранения данного недостатка в предлагаемой системе управления вводится принудительное считывание микроконтроллером текущего выходного угла, т. е. искусственное создание «открытой» петли ООС [9]. Полученное таким образом значение впоследствии обрабатывается по системе ПИД-регулятора (2).

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (2)$$

где:  $e(t) = \Delta\varphi(t) = \varphi_{\text{вх}}(t) - \varphi_{\text{вых}}(t)$  – ошибка регулирования, величина отклонения от заданного значения;

$K_p, K_i, K_d$  – коэффициенты пропорциональности, определяемые экспериментально.

Слагаемые в (1) отвечают за соответственно пропорциональную (текущее отклонение), интегрирующую (статическая ошибка) и дифференцирующую (прогнозируемые отклонения) составляющие.

Поскольку в данной модели имеет место программная реализация ПИД-регулятора<sup>[4]</sup>, для оптимизации расчетов переходим к рекуррентной формуле (3).

$$U_n = U_{n-1} + K_p(E_n - E_{n-1}) + K_i \frac{E_n + E_{n-1}}{2} h + K_d \frac{(E_n - E_{n-2})}{2h} \quad (3)$$

Суммируя все вышесказанное можно предложить следующую модель управления (Рис.4):

- 1) на микроконтроллер поступает требуемое значение угла;
- 2) далее он преобразуется в ШИМ-сигнал и посылается в сервопривод;
- 3) в блоке управления он преобразуется в новое опорное напряжение  $U_{\text{нов}}$  по формуле (1);
- 4) компаратор определяет разность между новым и старым опорными напряжениями;
- 5) если таковая имеется, то она усиливается и подается на двигатель;



б) выходной вал редуктора поворачивает качалку потенциометра и постоянное напряжение на нем, изменяясь, позволяет определить новый выходной угол.

Из формулы (1) и условия линейности следует, что

$$0^\circ - 0,2 \text{ В}$$

$$180^\circ - 0,55 \text{ В}$$

и, соответственно, каждому градусу поворота соответствует шаг в 2 мВ.

Основное регулирование при данной системе происходит на микроконтроллере [11-20], благодаря открытой петле обратной связи.

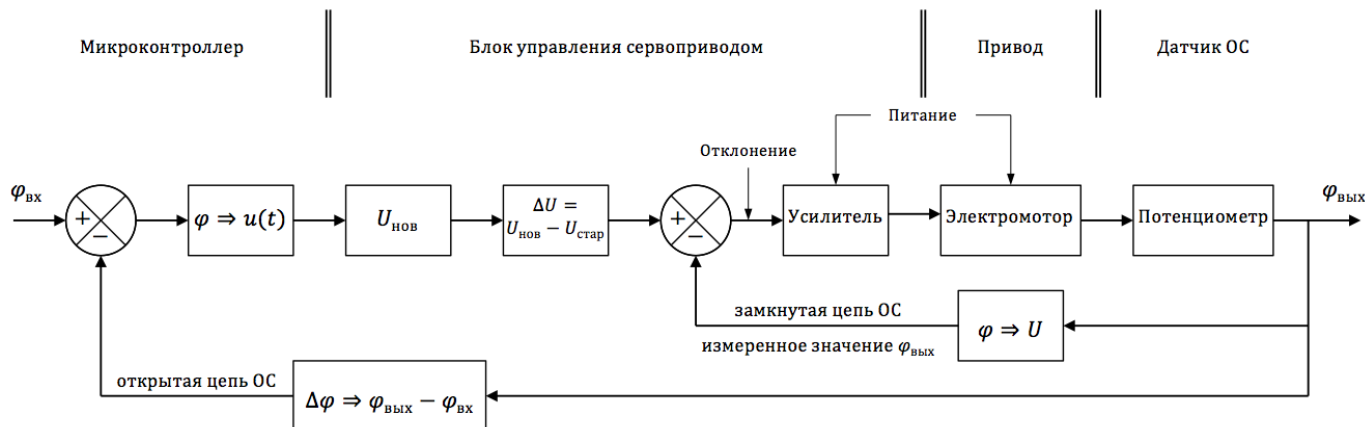


Рис. 4 – Система управления сервоприводом с двумя петлями ООС

При данной системе управления необходимо также учитывать переходный процесс, происходящий при повороте выходного вала в сервоприводах, не поддерживающих регулирование скорости вращения мотора (рис.5). В момент 1 на сервопривод поступает команда на совершение поворота и привод начинает ее обработку. В момент 2 опорное напряжение сравнивается с напряжением на потенциометре, но в силу инерции выходной вал проскакивает это значение и в момент 3 в действие вступает обратная связь, корректирующая выходной угол, и управляющая электроника обрабатывает мотором назад и все повторяется. В результате наблюдается дрожание выходного вала возле требуемого положения. Для борьбы с таким дрожанием вводится зона нечувствительности  $\Delta\varphi_{\text{мин}}$  (также «мертвая зона»), в которой компаратор не выдает разницы между опорным и считываемым значениями [16]. Величина этой зоны определяет точность позиционирования выходного вала сервопривода. Так как производитель сам закладывает величину зоны нечувствительности, то в отсутствии открытой петли обратной связи, повлиять на точность позиционирования выходного угла невозможно. Однако имея данную петлю, есть возможность искусственно корректировать эту зону, так как сравнение будет происходить в управляющих алгоритмах микроконтроллера, уменьшая, либо, наоборот, увеличивая ее, в зависимости от задач поставленных пользователем. Большая область нечувствительности – отсутствие дрожания и меньшее энергопотребление при малой выходной точности, маленькая зона – повышенная точность при риске появления дрожания и рост энергетических затрат. Допустимая минимальная величина «мертвой зоны» определяется точностью выполнения механики редуктора.

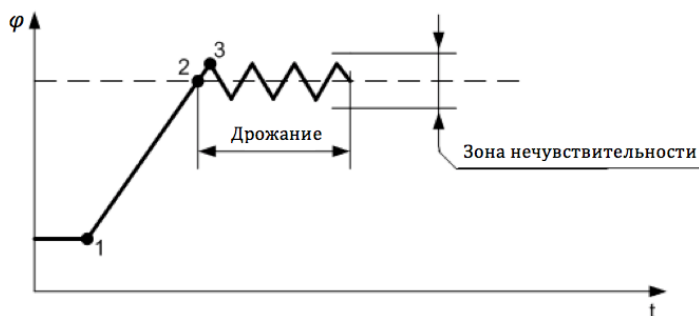


Рис. 5 – График переходного процесса на сервоприводе

Поскольку на контроллер значения подаются с компьютера, стоит также учитывать особенности данных команд [21, 22]. Управляющая программа посылает на МК значение угла поворота, передаваемого определенным количеством байт, в зависимости от которого будет определен шаг квантования угла поворота сервопривода. Величина этого шага может быть определена по формуле (4) и, если информация о положении передается одним байтом, составит

$$\varepsilon = \frac{\varphi}{256^n} = \frac{180^\circ}{256} = 0.7^\circ, \quad (4)$$

где:  $\varphi$  – угол поворота сервопривода;

$n$  – количество байт, приходящихся на одну управляющую команду.

При увеличении разрядности управляющей команды, шаг квантования можно уменьшить настолько, что погрешность позиционирования будет определяться только точностью сервопривода.

Учитывая данную погрешность следует выбирать и величину зоны нечувствительности сервопривода, так как не имеет смысла делать ее меньше ошибки квантования  $\varepsilon$ . Таким образом, если  $\Delta\varphi(t) < \Delta\varphi_{\min}(\varepsilon)$ , то  $\Delta\varphi(t)$  принимается равным 0.

Для оценки корректности предлагаемой системы управления в среде Squeak была разработана математическая модель на основании формулы (3). В качестве проверки данной модели был проведен эксперимент (рис.6), результаты которого представлены в таблице 1, где:

$\varphi_{вх}$  – задаваемое значение;

$\varphi_{расч}$  – значение, полученное по результатам моделирования;

$\varphi_{вых}$  – экспериментальное значение.

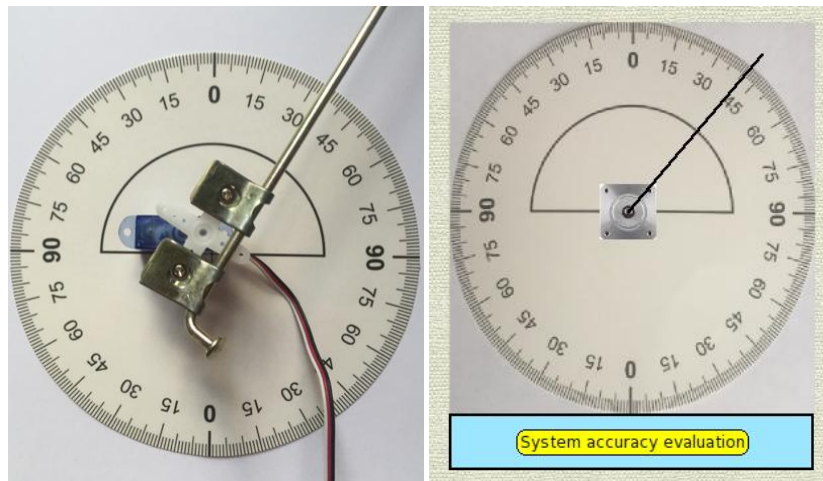


Рис. 6 – Оценка точности системы управления

Таблица 1

$\varphi_{вх}$	$\varphi_{расч}$	$\varphi_{вых}$
0°	1.14°	2°
10°	9.61°	10.5°
20°	20.11°	19°
30°	30.62°	29.5°
40°	39.76°	39.5°
50°	48.07°	50°
60°	59.94°	57.5°
70°	71.68°	72°
80°	78.93°	77.5°
90°	90.17°	91°

Анализируя полученные данные можно сделать вывод о пригодности использования данной системы [14], поскольку результаты эксперимента имеют одинаковый порядок ошибки с результатами, полученными из математической модели. А линия тренда на графике отклонений этой модели свидетельствует о минимальной прогнозируемой ошибке, получаемой при использовании разрабатываемой в данной статье системы управления (рис.7).

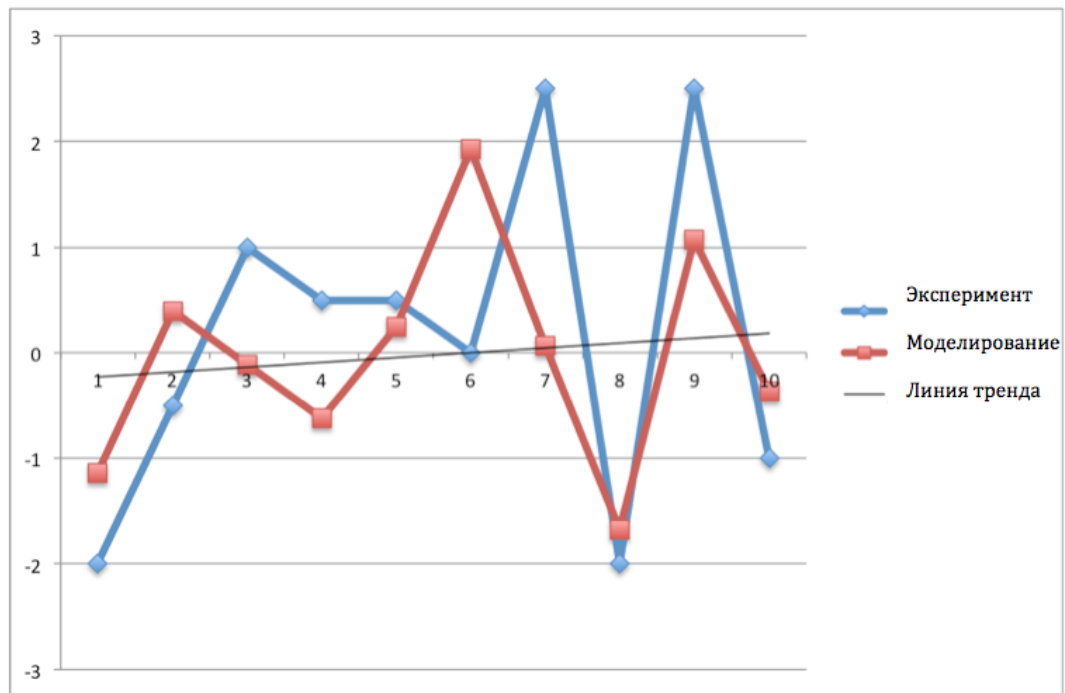


Рис. 7 – Анализ корректности системы управления сервоприводом

Для анализа работоспособности данной системы в реальных условиях, управление устройства, представленного на Рис.1, было осуществлено на ее основе. В среде Squeak была также построена модель данного конкретного объекта [13] и проведено сравнение результатов, полученных с ее помощью, с результатами эксперимента.

Полученная картина представлено на рисунке 8.

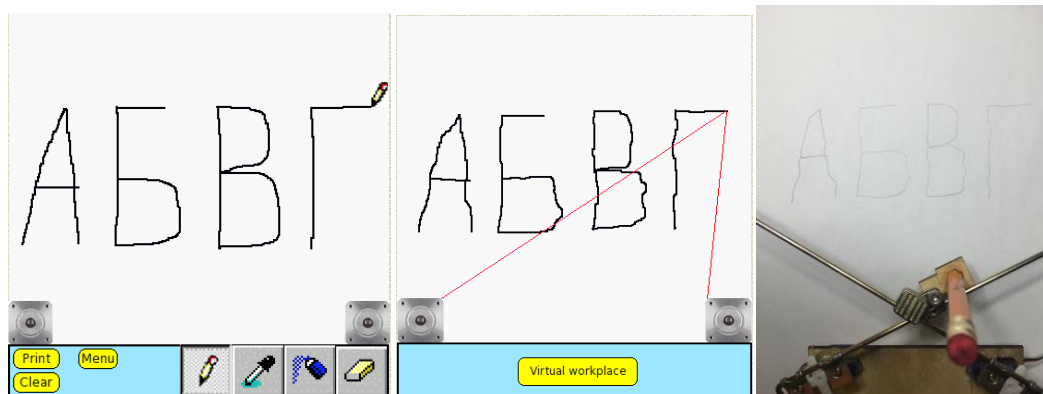


Рис. 8 – Оценка действительных ошибок системы

Судя по полученным результатам, можно сделать вывод, что разработанная модель управления позволяет достаточно точно оценить реальную работу системы<sup>[15]</sup> и увеличить точность управления.

Полученная в данной работе система управления позволяет осуществить достаточно точное управление и прогнозирование работы сервопривода [1]. Также данная модель [14] является универсальной и может быть применена к любому устройству на основе сервоприводов, позволяя проводить анализ его работоспособности и ожидаемых свойств.

## 2 Анализ применимости манипуляторов в концепции FAB-LAB

Различные манипуляторы нашли широкое применение в концепции FAB LAB. На рисунке 9 представлена классификация и примеры оборудования [8], основанного на работе различных приводов.

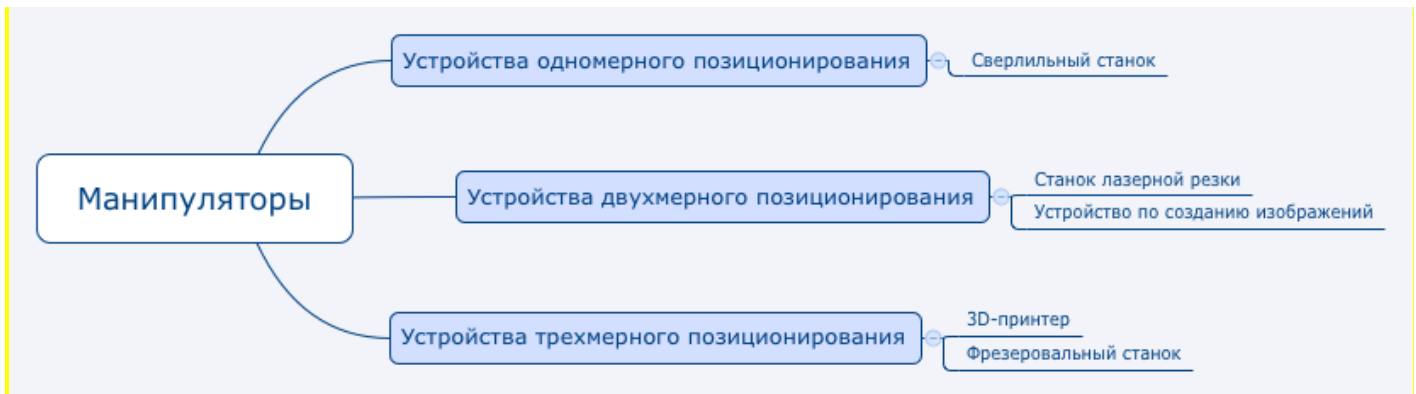


Рис. 9 – Классификация использования манипуляторов

Все вышеприведенное оборудование может быть построено на базе сервоприводов и приведено к общему виду, когда смена функций станка осуществляется посредством замены исполнительного элемента (в данном случае пишущего элемента) и программного алгоритма работы. Данная концепция позволяет создать условия для быстрого и мобильного прототипирования устройств, что играет важную роль в условиях персонального цифрового производства. Также рассмотренная идея повышает доступность оборудования за счет его универсальности, что непременно способствует развитию движения FAB LAB.

#### Заключение

В данной статье рассмотрена система управления сервоприводом, отличающаяся повышенной точностью позиционирования и прогнозирования работы устройства. Она также является универсальной и применимой к большому спектру оборудования. Рассмотрен вопрос о рациональности внедрения данного алгоритма в концепцию FAB LAB для ее упрощения и повышения ее доступности.

Целесообразность дальнейшей работы очевидно следует из актуальности данной системы в условиях персонального цифрового производства, экономичности и доступности процесса прототипирования сложных систем (например, робототехнических систем, производственных систем [4-7, 19,21]), когда отсутствует возможность выполнять каждую отдельную операцию на специализированном оборудовании и универсализация станков имеет существенное значение в процессе производства прототипа. Также рассмотренная модель может быть применена для увеличения скорости и мобильности прототипирования устройств, так как не только изменение конфигурации, но и процесс монтажа/демонтажа оборудования будет существенно упрощен. Система может органично дополнить уже существующие способы эффективного управления производственными комплексами [10-12], а также быть в дальнейшем расширена хорошо зарекомендовавшими себя техническими модулями [17].

#### Литература

1. Иванов Ю. В. Автоматизация производства электронной аппаратуры - Москва, Издательство "БИНОМ. Лаборатория знаний". 2015.336.
2. Иванов Ю. В. Компьютерная технологическая подготовка сборки электронной аппаратуры в роботизированном комплексе - Москва, Издательство "БИНОМ. Лаборатория знаний". 2015. 715 с.
3. А.А.Арабов, А.И. Власов, В.Н.Гриднев, Д.Е. Зотьева, В.В.Маркелов FAB-LAB технологии быстрого прототипирования изделий электронной техники // Материалы II международной научно-практической конференции «Современные научные исследования: методология, теория и практика. – Нижний Новгород, ЦСРНИ, 2 июня 2014г. – С.157–161.
4. Иванов Ю.В. Проектирование операций сборки, выполняемых на оборудовании с числовым программным управлением. Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию по курсу Технология приборостроения и производства ЭА - Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. 1984.
5. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования устройств захвата электронных компонентов для автоматической сборки электронной аппаратуры. Учебное пособие - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2002.
6. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования головок монтажа электронных компонентов для автоматической сборки электронной аппаратуры - Москва. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2002.
7. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования загрузочных устройств электронных компонентов для автоматизированной сборки электронной аппаратуры. Учебное пособие - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2002.
8. Журавлева Л.В., Власов А.И. Визуализация творческих стратегий с использованием ментальных карт // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1 (21). С. 133-140.
9. Еланцев А.В., Маркелов В.В. Методы расчета технологичности электронно-вычислительных и радиоэлектронных средств - Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1989.
10. А.И.Власов, А. Е. Михненко Информационно-управляющие системы для производителей электроники // Производство электроники: технологии, оборудование материалы. - 2006. - №3.- С.15-21.
11. А. И. Власов, А. Е. Михненко Принципы построения и развертывания информационной системы предприятия электронной отрасли // Производство электроники: технологии, оборудование материалы. 2006. № 4. С. 5-12.
12. Власов А.И., Ганев Ю.М., Карпунин А.А. Системный анализ "бережливого производства" инструментами визуального моделирования // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2015. №4. С.19-25.
13. Власов А.И. Пространственная модель оценки эволюции методов визуального проектирования сложных систем // Датчики и системы. 2013. № 9 (172). С. 10-28.

14. Еланцев А.В., Курбанмагомедов К.Д., Маркелов В.В., Набиуллин А.Н. Методы и средства автоматизированного контроля и испытаний электронной аппаратуры. Часть 2: Анализ и обеспечение контроле- и тестопригодности ЭА. - Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1989.
15. Власов А.И., Маркелов В.В., Зотьева Д.Е. Управление и контроль качества изделий электронной техники. Семь основных инструментов системного анализа при управлении качеством изделий электронной техники // Датчики и системы. 2014. № 8 (183). С. 55-66.
16. Азябин С.В., Пашинский И.О., Юдин А.В. Функциональный генератор с прямым цифровым синтезом частоты // Наука и Мир. 2014. Т. 1. № 5 (9). С. 69-75.
17. Миронов С.В., Юдин А.В. СИСТЕМА Технического зрения в задачах навигации мобильных объектов // Программные продукты и системы. 2011. № 1. С. 3.
18. Sukhotskiy D., Yudin A. Startup robotics course for elementary school // Communications in Computer and Information Science. 2011. T. 156 CCIS. C. 141-148.
19. Demidov A., Yudin A., Krasnobryzhiy B., Chistyakov M., Borovik R., Kuturov A. Autonomous mobile robot development in a team, summarizing our approaches // Communications in Computer and Information Science. 2011. T. 156 CCIS. C. 168-179.
20. Yudin A., Vlasov A. Distributed control system in mobile robot application: general approach, realization and usage // Communications in Computer and Information Science. 2011. T. 156 CCIS. C. 180-192.
21. Kuturov A., Yudin A., Pashinskiy I., Chistyakov M. Team development of an autonomous mobile robot: approaches and results // Communications in Computer and Information Science. 2011. T. 161 CCIS. C. 187-201.
22. Yudin A., Semyonov M. Distributed control system for a mobile robot: tasks and software architecture // Communications in Computer and Information Science. 2011. T. 161 CCIS. C. 321-334.

#### References

1. Ivanov Y.V. Fabrication automation of electronic equipment - Moscow, "BINOM. Knowledge lab". 2015. 336.
2. Ivanov Y.V. Computer technology training of electronic equipment assembly in the robotic systems - Moscow, "BINOM. Knowledge lab". 2015. 715 p.
3. A.A. Arabov, A.I. Vlasov, V.N. Gridnev, D.E. Zotjeva, V.V. Markelov FAB-LAB rapid prototyping technology of electronic products // Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference «Modern scientific research: methodology, theory and practice. – Nizhny Novgorod, TSSRNI, June 2 2014– P.157 –161.
4. Ivanov Y.V. Design of assembly operations, performed on equipment with numerical control. Tutorial course and degree designing at the rate of Instrumentation Technology and Production EE -Moscow, BMSTU. 1984.
5. Ivanov Y.V. Capture device of electronic components design automation for automatic assembly of electronic equipment. Tutorial- M.: BMSTU. 2002.
6. Ivanov Y.V. Installation heads of electronic components design automation for automatic assembly of electronic equipment - Moscow, BMSTU. 2002.
7. Ivanov Y.V. Charger of electronic components design automation for automatic assembly of electronic equipment. Tutorial-M.: BMSTU. 2002.
8. Zhuravleva L.V., Vlasov A.I. Display of creative strategies using mental maps // Caspian magazine: management and high technology. 2013. № 1 (21). P. 133-140.
9. Elantsev A.V., Markelov V.V. Processability calculation methods of electronic computing and radio-electronic means- Moscow, BMSTU. 1989.
10. A. I. Vlasov, A.E. Mikhnenko Information and control systems for electronics manufacturers // Electronics fabrication: technology, equipment and materials. - 2006. - №3.- P.15-21.
11. Vlasov A. I., Mikhnenko A. E. Principles of construction and deployment of information systems of electronics industry enterprises // Electronics fabrication: technology, equipment and materials. 2006. № 4. P. 5-12.
12. Vlasov A.I., Ganey Y.M., Karpunin A.A. System analysis of "lean manufacturing" with tools of visual modeling // Information technology in the design and manufacture. 2015. №4. P.19-25.
13. Vlasov A.I. Spatial model of assessment of the evolution of methods of visual design of complex systems // Sensors and systems. 2013. № 9 (172). P. 10-28.
14. Elantsev A.V., Kurbanmagomedov K.D., Markelov V.V., Nabiullin A.N. Methods and means of automated control and testing of electronic equipment. Part 2: Analysis and provision control- and testability EE. - Moscow, BMSTU. 1989.
15. Vlasov A.I., Markelov V.V., Zotjeva D.E. Management and quality control of electronic products. Seven basic tools of system analysis at the quality of management of electronic articles // Sensors and systems. 2014. № 8 (183). P. 55-66.
16. Azyabin S.V., Pashinsky I.O., Yudin A.V. Function generator with direct digital frequency synthesis // Science and World. 2014. V. 1. № 5 (9). P. 69-75.
17. Mironov S.V., Yudin A.V. Vision system in a navigation problem of mobile objects // Software and Systems. 2011. № 1. P. 3.
18. Sukhotskiy D., Yudin A. Startup robotics course for elementary school // Communications in Computer and Information Science. 2011. V. 156 CCIS. P. 141-148.
19. Demidov A., Yudin A., Krasnobryzhiy B., Chistyakov M., Borovik R., Kuturov A. Autonomous mobile robot development in a team, summarizing our approaches // Communications in Computer and Information Science. 2011. V. 156 CCIS. P. 168-179.
20. Vlasov A., Yudin A. Distributed control system in mobile robot application: general approach, realization and usage // Communications in Computer and Information Science. 2011. V. 156 CCIS. P. 180-192.
21. Kuturov A., Yudin A., Pashinskiy I., Chistyakov M. Team development of an autonomous mobile robot: approaches and results // Communications in Computer and Information Science. 2011. V. 161 CCIS. P. 187-201.
22. Yudin A., Semyonov M. Distributed control system for a mobile robot: tasks and software architecture // Communications in Computer and Information Science. 2011. V. 161 CCIS. P. 321-334.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.182

Балалаев А.Н.<sup>1</sup>, Куприянов П.В.<sup>2</sup>, Быков И.В.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-0839-6858, Доктор технических наук, доцент,  
Самарский государственный университет путей сообщения<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-5994-2962, аспирант,

Самарский государственный университет путей сообщения,

<sup>3</sup>Бригадир (освобожденный) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена.**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАЗОГРЕВА  
ОСТАТКОВ ВЯЗКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРНАХ****Аннотация**

*В данной статье приводятся результаты сравнительных испытаний двух устройств для разогрева остатков вязких нефтепродуктов в железнодорожных цистернах. Первое устройство снабжено четырьмя инжекторами со сверхзвуковыми соплами, попарно направленными к торцам цистерны. Второе устройство имело два инжектора со сверхзвуковыми соплами, направленными к торцам цистерны, и сверхзвуковое сопло, направленное в сторону нижнего сливного прибора. Установлены следующие преимущества второго устройства над первым: уменьшение времени разогрева и пропарки на 19% по сравнению с традиционными методами; отсутствие выбросов пара через горловину разогреваемого объема (с применением устанавливаемого на горловину загрузочного люка защитного приспособления); высокая очистка внутренней поверхности котла и увеличение выхода разогретого продукта (до операции мойки) на 3-5% за счет размыва придонных осадков и отложений; снижение расхода пара на пропарку на 19%.*

**Ключевые слова:** разогрев вязкого нефтепродукта, остатки груза, железнодорожная цистерна, энергетическая эффективность, парожидкостный инжектор.

Balalaev A.N.<sup>1</sup>, Kuprijanov P.V.<sup>2</sup>, Bykov I.V.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-0839-6858, PhD in Engineering, Associate professor,  
Samara State Transport University<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-5994-2962, Postgraduate student,

Samara State Transport University

<sup>3</sup>The foreman (released) enterprises of railway transport and subway**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE HEATING PROCESS RESIDUES THICKENED  
VISCIOUS OIL PRODUCTS IN RAILWAY TANK USING A VAPOR-LIQUID INJECTOR****Abstract**

*To this article the results of comparative tests of two devices are driven for the warming-up of bits and pieces of viscous oil products in railway cisterns. The first device is provided with four injectors with the supersonic nozzles in pairs directed to the butt ends of cistern. The second device had two injectors with the supersonic nozzles directed to the butt ends of cistern, and supersonic nozzle directed toward a lower downlow device. Next advantages of the second device are set above the first: reduction of time of warming-up and steaming-out on 19% as compared to traditional methods; absence of extrass of steam through the mouth of the warmed up volume (with the use of the loading hatch of protective adaptation set on a mouth); high cleaning of internal surface of caldron and increase of exit of warmed-up product (before the operation of washing) on 3-5% due to washing away of benthic fallouts and sedimentations; decline of expense of steam on a steaming-out on 19%.*

**Keywords:** heating of viscous oil, remnants of cargo, tank car, energy efficiency, vapor-liquid injector.

Эксплуатация в России железнодорожных цистерн, перевозящих вязкие нефтепродукты (мазут, соапсток, ГАЧ), сопровождается в холодный период года их загустеванием и неполным сливом. При разогреве и сливе остатков вязких нефтепродуктов из железнодорожных цистерн в процессе их подготовки к ремонту или под новый налив затрачивается большое количество теплоты.

В настоящее время разработано множество способов разогрева и слива вязких нефтепродуктов из цистерн [1, 1 - 62], [2, 12 - 25], [3, 196 - 197], [4, 491], [5, 205 - 206], однако, по-прежнему данная технологическая операция остается энергетически затратной, длительной и взрывопожароопасной.

В связи с тем, что перевозка вязких нефтепродуктов на железнодорожном транспорте в России осуществляется большими объемами, оптимизация технологии разогрева остатков загустевшего нефтепродукта в цистерне является актуальной научно-технической задачей.

Целью данной работы является оценка эффективности модернизированного устройства для разогрева остатков вязких нефтепродуктов в железнодорожных цистернах, выработка рекомендаций по сокращению времени пропарки цистерн при их подготовке к новому наливу или ремонту.

Разжижитель (см. [6, 1]) предназначен для разогрева остатков вязких нефтепродуктов в цистернах с помощью тепловой энергии водяного пара (рис. 1). Данное устройство представляет собой четыре вращающихся струйных инжектора.

Упрощенный вариант разжижителя (четыре струйных инжектора без вращения), применяющийся в настоящее время на предприятии ЗАО "ЭКЗА", показан на рис. 2.



Рис. 1 – Разжижитель фирмы ООО "КВАРК ПромЭнергоСистемы"

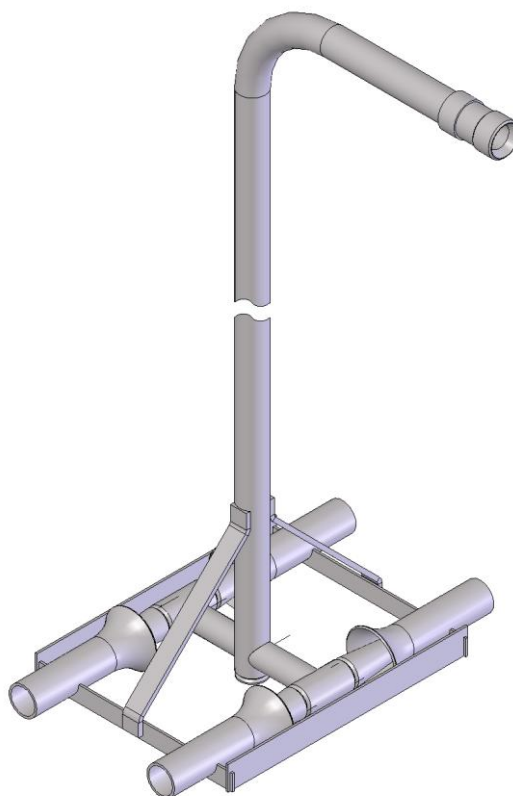


Рис. 2 – Упрощенный вариант конструкции разжижителя ЗАО "ЭКЗА"

Принцип действия разжижителя ЗАО "ЭКЗА" следующий.

Устройство помещается внутрь котла цистерны (рис. 3) над поверхностью разогреваемых остатков загустевшего нефтепродукта.



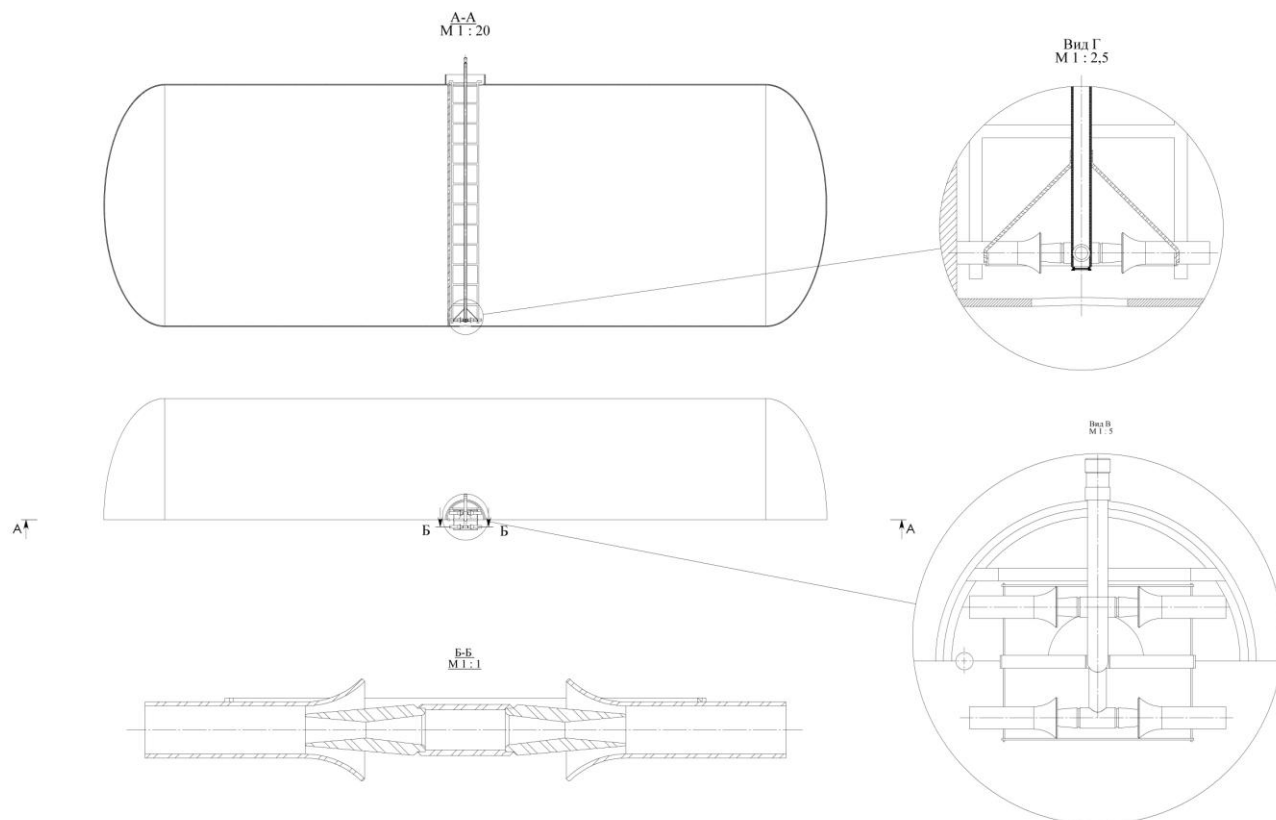


Рис. 3 – Размещение штатного разжижителя ЗАО "ЭКЗА" внутри цистерны

Водяной пар через подводящий трубопровод подается в сверхзвуковые сопла. Истекая из сопел, сверхзвуковая струя водяного пара инжектирует воздух, находящийся в цистерне. За счет конвективного теплообмена в котле происходит нагрев стенок цистерны и вязкого нефтепродукта. Водяной пар конденсируется, смесь разогретого нефтепродукта и водяного конденсата стекает к нижнему сливному прибору. Для разжижения продукта в районе клапана нижнего сливного прибора снизу цистерны подводится пар также к сливному патрубку (рис. 4).

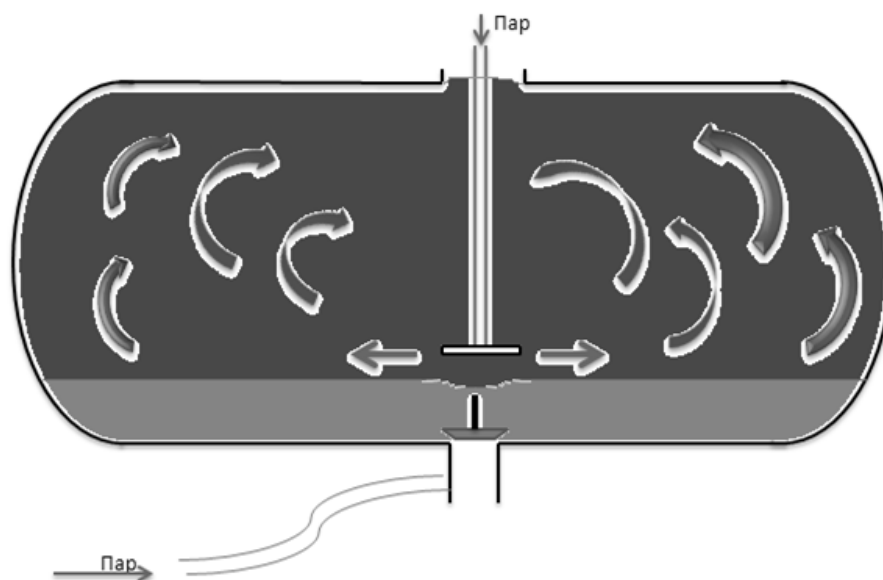


Рис. 4 – Процесс конвекции при работе штатного разжижителя

Модернизированное устройство для разогрева остатков вязких нефтепродуктов [7, 147] (далее разжижитель БАФЕК, рис. 5) предназначено для разогрева и перемешивания (в отличие от существующего варианта) вязких сред в цистернах с помощью тепловой и кинетической энергии водяного пара.



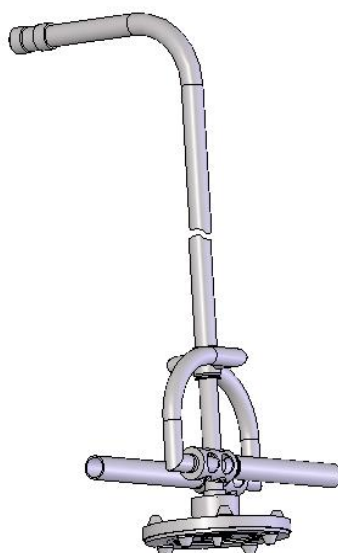


Рис. 5 – Модернизированный вариант разжижителя БАФЕК

В подводящий трубопровод БАФЕК подается пар, который распределяется по двум сверхзвуковым горизонтальным соплам, одному сверхзвуковому вертикальному соплу и восьми вертикальным дозвуковым соплам (четыре из них направлены вниз, остальные – вверх). Пар, прошедший через сверхзвуковые сопла, смешивается в камерах смешения с поступающей через отверстия камеры смешения разогреваемой средой (вязким нефтепродуктом).

Разжижитель БАФЕК погружается в разогреваемую жидкую среду, либо свободно помещается на поверхность загустевшего нефтепродукта.

В первом случае, истекая из сопел с высокой скоростью, активная среда инжeksiрует разогреваемую среду. В котле цистерны происходит нагрев вязкой среды, как от пара, так и от самой разогретой среды (рис. 6).

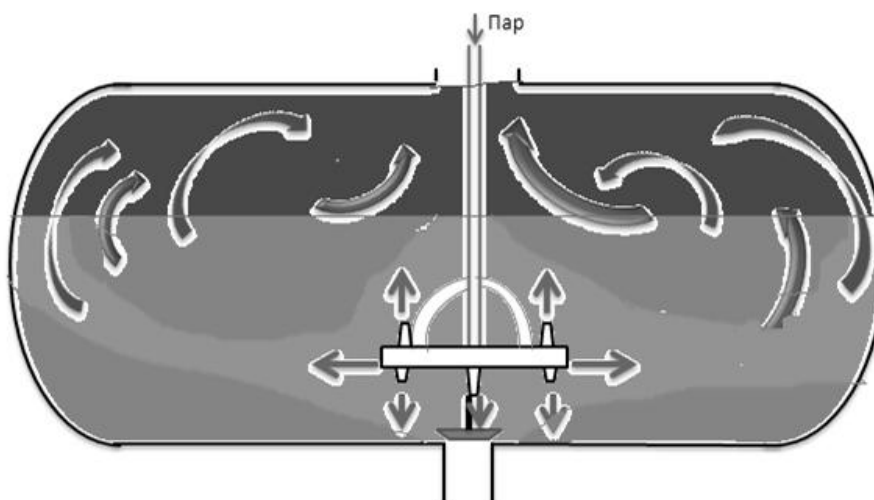


Рис. 6 – Процесс конвекции при работе разжижителя БАФЕК

В камерах смешения струйных инжекторов происходит конденсация водяного пара с передачей внутренней теплоты фазового перехода разогреваемой среде (вязкому нефтепродукту). Смесь водного конденсата и разогретого нефтепродукта вытекает из камер смешения струями, которые разогревают остатки загустевшего нефтепродукта, одновременно перемешивая его во всем объеме котла цистерны. При этом весь объем вязкого нефтепродукта разогревается равномерно, а стенки котла очищаются.

Водяной пар через направленные вниз сопла разогревает еще и среду у клапана нижнего сливного прибора, что ускоряет процесс освобождения его для слива полученной горячей смеси. Конструкция нижней части разжижителя БАФЕК (см. [8, 59]) показана на рис. 7 и 8.

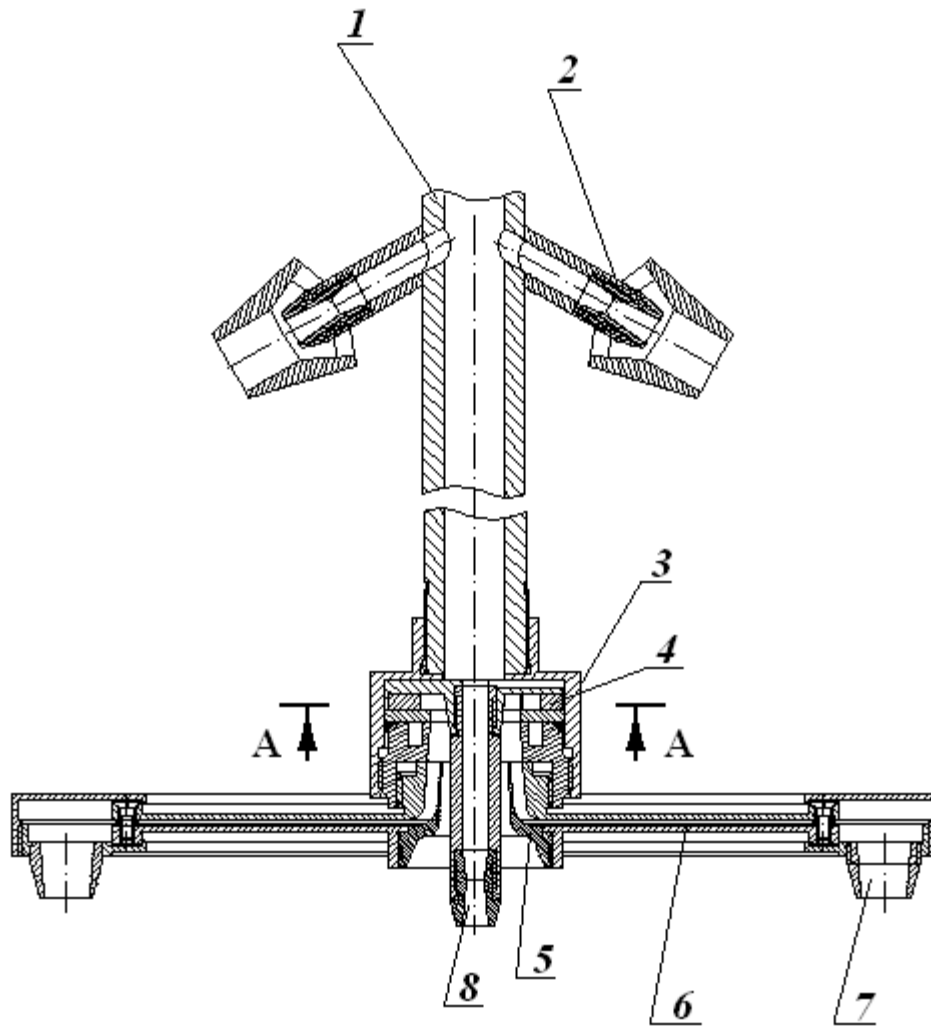


Рис. 7 – Продольный разрез разжижителя БАФЕК [8, 59]: 1 – полый шток, 2 – струйные инжекторы, 3 – вихревой эжектор, 4 – тангенциальный сопловый ввод, 5 – противоточное кольцевое сопло, 6 – радиально-щелевой диффузор, 7 – суживающиеся сопла, 8 – осевое сверхзвуковое сопло

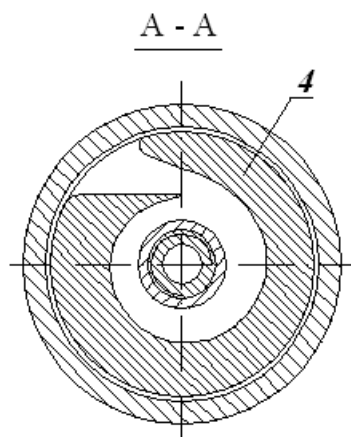


Рис. 8 – Сечение А-А разжижителя БАФЕК (обозначения как на рис. 7)

Особенности работы нижней части разжижителя описаны в [8, 59-60] и состоят в следующем. "Полый шток 1 опускается через верхний люк цистерны так, чтобы расположенный на его конце вихревой эжектор 3 был ориентирован в сторону нижнего сливного прибора и погружен в вязкую жидкость. Через полый шток 1 в вихревой эжектор 3 и осевое сверхзвуковое сопло 8 подается водяной пар. Пар, истекающий из осевого сверхзвукового сопла 8, разжижает вязкую жидкость путем ее нагрева и газодинамического воздействия.

Вязкость разогретой жидкости снижается, она поднимается к эжектору за счет силы Архимеда и подсасывается через противоточное кольцевое сопло 5 внутрь вихревого эжектора 3, так как внутри вихревого эжектора 3 создается разрежение из-за вращательного движения пара, истекающего из тангенциального соплового ввода 4. Смешиваясь в вихревом эжекторе 3 с паром, жидкость еще больше подогревается, приобретает вращательное движение и поступает в радиально-щелевой диффузор 6, где ее кинетическая энергия преобразуется в потенциальную энергию давления. Из

радиально-щелевого диффузора 6 смесь жидкости и пара истекает через суживающиеся сопла 7 в сторону нижнего сливного прибора. Количество суживающихся сопел 7, симметрично расположенных по периферии радиально-щелевого диффузора 6, больше двух, что способствует более равномерному размыванию загустевшей жидкости вокруг клапана нижнего сливного прибора цистерны" - см. [9, 1].

За счет эффективной обработки горячими струями застойных придонных и пристеночных областей БАФЕК обеспечивает высокую степень очистки цистерн от особо вязких отложений и обеспечивает полный слив разогретой жидкости.

Если БАФЕК свободно помещается на поверхность загустевшего нефтепродукта, разогрев последнего осуществляется с помощью пара, истекающего через сверхзвуковое сопло, направленное вертикально вниз в сторону клапана нижнего сливного прибора. После разжижения нефтепродукта под разжижителем БАФЕК, последний погружается в нефтепродукт, и работает, как описано в первом случае.

Подробное обоснование преимуществ и особенностей работы разжижителя БАФЕК содержится в [8, 59 - 64], [10, 48], [11, 71].

Технические характеристики двух разжижителей сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Технические характеристики разжижителей

Характеристика	Штатный	БАФЕК
Расход пара через разжижитель, Гкал/час	0,15	0,084
Время разогрева цистерны 60 м <sup>3</sup> , мин	240 (4 ч)	194 (3,24 ч)
Расход пара на одну цистерну, Гкал	0,6	0,27
Расход пара, Гкал/год	6132	2760
Присоединительный диаметр, Ду, мм	38	38
Масса, кг	8	15

Результаты сравнительных испытаний штатного разжижителя и разжижителя БАФЕК, проведенные в январе – феврале 2016 г. на участке пропарки цистерн из-под вязких нефтепродуктов ЗАО «ЭКЗА», представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты сравнительных испытаний двух разжижителей

Дата		14-15.01.16		26.01.		28.01.		25.02.16	
Содержание работ									
Продукт		Соапсток		Мазут		Мазут		ГАЧ	
Разжижитель		Штатный	БАФЕК	Штатный	БАФЕК	Штатный	БАФЕК	Штатный	БАФЕК
Остаток, см		120	120	40	25	40	40	10	10
Пропарка котла цистерны	Время начала	08.00-14.01.16	12.20-15.01.16	13.30	13.30	03.00	03.00	14.00	14.00
	Время окончания	12.00-15.01.16	19.40-15.01.16	15.00	14.40	08.30	07.20	14.50	14.45
	Общее время, мин (температура лобовых частей котла, °C)	28час	7ч20мин	90 (85 <sup>0</sup> )	70 (76 <sup>0</sup> )	330 (84 <sup>0</sup> )	260 (75 <sup>0</sup> )	50 (84 <sup>0</sup> )	45 (75 <sup>0</sup> )
Температура окружающей среды	°C	-4...-2		-18		-18		+1	
Параметры пара	Температура, °C	150		150		150		140	
	Давление, МПа	0,7		0,8		0,8		0,6	

Преимущества разжижителя БАФЕК перед штатным разжижителем:

- уменьшение времени разогрева остатков вязкого нефтепродукта на 19% по сравнению с применением штатного разжижителя;
- повышение качества очистки внутренней поверхности котла цистерны;
- увеличение выхода отделяемого из сборного обводненного нефтепродукта (СНО) на 15% за счет уменьшения доли водного конденсата;
- снижение потребного количества водяного пара в 2,22 раза.

Согласно приведенным в [8, 63] расчетам, затраты на обработку 2000 цистерн из-под мазута со сверхнормативными остатками (от 1 до 3 тонн), а также на отделение и очистку водного конденсата из СНО могут быть снижены на 405 тыс. руб. в ценах 2012 г.

### Литература

1. Феклистов, А.Ю. Обзор патентов в области разогрева и слива нефтепродуктов из цистерн [Текст] / А.Ю. Феклистов / Самарский гос. универ. путей сообщ. - Самара, 2009. - 63 с. - Деп. в ВИНТИ 27.08.09, № 534-B2009.
2. Совершенствование технологии разогрева и слива высоковязкого мазута из цистерн [Текст] / Н.Н. Копейкин // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.08 – Эксплуатация железнодорожного транспорта (включая системы сигнализации, централизации и блокировки). – СПб.: ПГУПС, 1997. – 20 с.
3. Пат. на изобретение № 2053183 РФ, МПК<sup>6</sup> B65G69/20, B65D88/74. Устройство для разогрева остатков нефтепродуктов в цистерне / А.Т. Ткаченко, В.Г. Лукьяненко, Е.П. Шапоров. – № 4916164/13; Заявлено 04.03.1991; Опубл. 27.01.1996; Приоритет 04.03.1991 // Изобретения. – 1996. – № 3 (II ч.). – С. 196-197.
4. Пат. на изобретение № 2260552 РФ, МПК<sup>7</sup> B65D88/74, B65G69/20. Способ разогрева и слива высоковязких продуктов из емкости и устройство для его осуществления / Е.Л. Левченко, М.А. Елисеев, У.Н. Сабиров, Ю.В. Попов, А.И. Гамобрамов. – № 2004100257/12; Заявлено 09.01.2004; Опубл. 20.09.2005; Приоритет 09.01.2004 // Изобретения. Полезные модели. – 2005. – № 26 (III ч.). – С. 491.
5. Пат. на изобретение № 2118282 РФ, МПК<sup>6</sup> B65D88/74. Устройство для разогрева и слива вязких продуктов из цистерны / А.В. Силенок, В.А. Малянов. – № 97103615/13; Заявлено 29.07.1997; Опубл. 27.08.1998; Приоритет 29.07.1997 // Изобретения. – 1998. – № 24 (II ч.). – С.205-206.
6. URL: <http://www.kwark.ru/струйные-аппараты/устройства-разогрева-нефтепродуктов> (дата обращения к странице 05.05.2016).
7. Патент РФ на полезную модель №91329, МПК B65D88/74. Устройство для разогрева и слива вязких жидкостей из железнодорожных цистерн / А.Н. Балалаев, А.Ю. Феклистов. – № 2009137185/22; Заявлено 07.10.2009; Опубл. 10.02.10; Приоритет 07.10.09 // Изобретения. Полезные модели. – 2010. – №4. – С. 147.
8. Балалаев А.Н., Летов А.С., Феклистов А.Ю. Пути снижения эксплуатационных затрат железнодорожных цистерн для перевозки высоковязких нефтепродуктов: монография. - Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 64 с.
9. URL: <http://poleznayamodel.ru/model/9/91329.html> (дата обращения к странице 05.05.2016).
10. Балалаев А.Н., Клепиков, А.В., Феклистов А.Ю. Влияние качества очистки железнодорожных цистерн на их эксплуатационные характеристики // Вестник транспорта Поволжья, 2010. – №3. – С. 48-54.
11. Балалаев А.Н., Клепиков, А.В., Феклистов А.Ю. Математическая модель парожидкостного инжектора на основе идеальных элементов // Вестник транспорта Поволжья, 2010. – №3. – С. 71-78.

### References

1. Feklistov, A.YU. Obzor patentov v oblasti razogreva i sliva nefteproduktov iz cistern [Tekst] / A.YU. Feklistov / Samarskij gos. univer. putej soobshch. - Samara, 2009. - 63 s. - Dep. v VINITI 27.08.09, № 534-V2009.
2. Sovershenstvovanie tekhnologii razogreva i sliva vysokovyazkogo mazuta iz cistern [Tekst] / N.N. Kopejkin // Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk po special'nosti 05.22.08 – EHkspluatatsiya zheleznodorozhnogo transporta (vklyuchaya sistemy signalizacii, centralizacii i blokirovki). – SPb.: PGUPS, 1997. – 20 s.
3. Pat. na izobretenie № 2053183 RF, MPK6 B65G69/20, V65D88/74. Ustrojstvo dlya razogreva ostatkov nefteproduktov v cisterne / A.T. Tkachenko, V.G. Luk'yanenko, E.P. SHaporov. – № 4916164/13; Zayavleno 04.03.1991; Opubl. 27.01.1996; Prioritet 04.03.1991 // Izobreteniya. – 1996. – № 3 (II ch.). – S. 196-197.
4. Pat. na izobretenie № 2260552 RF, MPK7 V65D88/74, B65G69/20. Sposob razogreva i sliva vysokovyazkikh produktov iz emkosti i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya / E.L. Levchenko, M.A. Eliseev, U.N. Sabirov, YU.V. Popov, A.I. Gamobramov. – № 2004100257/12; Zayavleno 09.01.2004; Opubl. 20.09.2005; Prioritet 09.01.2004 // Izobreteniya. Poleznye modeli. – 2005. – № 26 (III ch.). – S. 491.
5. Pat. na izobretenie № 2118282 RF, MPK6 V65D88/74. Ustrojstvo dlya razogreva i sliva vyazkikh produktov iz cisterny / A.V. Silenok, V.A. Malyanov. – № 97103615/13; Zayavleno 29.07.1997; Opubl. 27.08.1998; Prioritet 29.07.1997 // Izobreteniya. – 1998. – № 24 (II ch.). – S.205-206.
6. URL: <http://www.kwark.ru/strujnye-apparaty/ustrojstva-razogreva-nefteproduktov> (data obrashcheniya k stranice 05.05.2016).
7. Patent RF na poleznuyu model' №91329, MPK B65D88/74. Ustrojstvo dlya razogreva i sliva vyazkikh zhidkostej iz zheleznodorozhnyh cistern / A.N. Balalaev, A.YU. Feklistov. – № 2009137185/22; Zayavleno 07.10.2009; Opubl. 10.02.10; Prioritet 07.10.09 // Izobreteniya. Poleznye modeli. – 2010. – №4. – S. 147.
8. Balalaev A.N., Letov A.S., Feklistov A.YU. Puti snizheniya ehkspluatatsionnyh zatrat zheleznodorozhnyh cistern dlya perevozki vysokovyazkikh nefteproduktov: monografiya. - Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 64 s.
9. URL: <http://poleznayamodel.ru/model/9/91329.html> (data obrashcheniya k stranice 05.05.2016).
10. Balalaev A.N., Klepikov, A.V., Feklistov A.YU. Vliyanie kachestva ochistki zheleznodorozhnyh cistern na ih ehkspluatatsionnye harakteristiki // Vestnik transporta Povolzh'ya, 2010. – №3. – S. 48-54.
11. Balalaev A.N., Klepikov, A.V., Feklistov A.YU. Matematicheskaya model' parozhidkostnogo inzhektora na osnove ideal'nyh ehlementov // Vestnik transporta Povolzh'ya, 2010. – №3. – S. 71-78.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.147

Бахшян Н.А.

Аспирант,

Сибирский федеральный университет

**СНИЖЕНИЕ ОБВОДНЕННОСТИ СКВАЖИН С ПОМОЩЬЮ ПОТОКООТКЛОНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
НА ПРИМЕРЕ ВАНКОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ****Аннотация**

Целью работы является анализ наиболее подходящих для данных условий методов повышения эффективности разработки нефтяных месторождений, применительно к условиям текущего состояния разработки объекта Як-III-VII Ванкорского месторождения.

В работе изложен краткий обзор различных групп составов и технологий, применяемых для увеличения охвата продуктивного пласта заводнением и на их основе разработана матрица применимости потокоотклоняющих технологий, согласно которой производится выбор и обоснование первоочередной базовой потокоотклоняющей технологии на основе полимеров акриламида для объекта Як-III-VII.

На основе анализа данных трассерных исследований и ПГИ выявлен преобладающий механизм (маршрут) обводнения продукции добывающих скважин закачиваемой водой, приводится алгоритм дизайна размещения полимер-гелевых составов для эффективной изоляции каналов фильтрации воды.

**Ключевые слова:** обводненность, потокоотклоняющие технологии, полимерное заводнение.

Bakhshyan N.A.

Postgraduate student,

Siberian Federal University

**THE REDUCTION OF WATER CONTENT OF WELLS WITH FLOW DIVERTER TECHNOLOGY  
ON THE EXAMPLE OF VANKOR FIELD****Abstract**

The aim of this work is to analyze the most appropriate for the given conditions of methods of increase of efficiency of development of oil fields, as applied to the current state of development of the object of the Yak-III-VII in the Vankor field.

The paper presents a brief overview of the different groups of compounds and technologies used to increase the coverage of the productive formation is evaluated and based on them developed the applicability matrix of water control technologies under which the selection and justification of the priority base flow deviation technologies based on polymers of acrylamide for the object of the Yak-III-VII.

On the basis of data analysis of tracer studies and PIP identified the predominant mechanism (route) of water cut in production wells the injected water, an algorithm to design placement of the polymer-gel formulations for effective isolation of the channels filtering the water.

**Keywords:** water cut, flow diverting technology, polymer flooding.

**П**овышение нефтеотдачи пластов – увеличение степени извлечения нефти из недр – в настоящее время и ближайшее десятилетие является одной из главных проблем энергообеспечения страны. Эффективность известных методов нефтеизвлечения обеспечивает конечный коэффициент нефтеотдачи в пределах 0.25-0.45, что нельзя назвать приемлемым для высокоразвитой в технологическом отношении страны. Остаточные запасы, или не извлекаемые существующими промышленно освоенными методами разработки, достигают примерно 55-75 % от первоначальных геологических запасов нефти в недрах, и представляют собой большой резерв увеличения извлекаемых ресурсов с применением методов повышения нефтеотдачи пластов.

Большинство месторождений на территории Российской Федерации в настоящее время находятся на второй – третьей стадиях разработки, которые характеризуются высокой обводненностью скважинной продукции, обусловленной значительной выработкой запасов. Запасы нефти, не вовлечённые в разработку, относятся к трудноизвлекаемым, что определяется такими факторами как низкая проницаемость коллектора и высокая послойная неоднородность по разрезу продуктивного пласта (переслаивание тонких нефтенасыщенных и плотных пропластков). Геолого-промысловый анализ показывает, что в результате интенсивного процесса образования техногенной трещиноватости, возникает неконтролируемая и непроизводительная циркуляция жидкости, что и является одной из причин преждевременного обводнения добывающих скважин, а также способствует образованию не вовлеченных в разработку зон [7].

В связи с этим, повышение степени извлечения нефти из недр разрабатываемых месторождений за счет прогрессивных методов воздействия на пласты, является важной народнохозяйственной задачей. Установление новых принципов разработки, учитывающих динамику явлений в коллекторах, подверженных интенсивному трещинообразованию, поможет инженерам и геологам при решении различных задач разработки месторождений. Очевидно, что использование методик разработки объектов, созданных для обычных поровых коллекторов, является недостаточным в данных геологических условиях. Поэтому тема исследований, посвященная проблеме повышения эффективности разработки нефтяных месторождений, является актуальной. Часть

**Краткая характеристика пластов Ванкорского месторождения**

На настоящий момент основным объектом разработки Ванкорского месторождения является объект Як-III-VII, обладающий терригенным типом коллектора, имеющий сравнительно высокое среднее значение проницаемости (480 мД), невысокую пластовую температуру (30-34 °С), повышенную вязкость нефти в пластовых условиях (8,9 сПз). Пластовая вода характеризуется низким значением минерализации (до 15 г/л, содержание ионов кальция не более 1,0 %) [1]. Данные особенности геолого-физического строения позволяют рекомендовать достаточно большой спектр технологий физико-химического воздействия (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Сводная информация по месторождениям, где осуществлялось полимерное заводнение в различных вариантах в сравнении с объектом Як-III-VII Ванкорского месторождения

Месторождение	Глубина залегания, м	Мощность пласта, м	Проницаемость, мД	Пористость, %	T, °C	Вязкость, сП	Минерализация воды (г/л)	Объем закачки, м3 (% от Vпор)	Конц.ПАА, мг/л	Технологический эффект, т	Примечание
Chateaufrenard	600	2,4	1000	30	30	40	4	280 000 (40)	700	29 500	SPE 18093
Courtenay		3,2	2460	30	30	40	4	47 300 (81)	1000	17 600	SPE 27820-PA
Rapdan	1400		114	18	55	10	6	784 000 (17)	1100 - 1500	313 000	SPE 27820-PA
Sleepy Hollow		3,4	2580	24	38	24	32		800 - 1000		SPE-153878-MS
Sanand		7	1500	28	85	20	9,9				SPE-153878-MS
Marmul		19,8	10000	30	46	80	3	(63)	1100	36 000	SPE-153878-MS
East Bodo		3,2	1000	30	53	17	3,3				SPE-153878-MS
Algyő			100-500		92-95	0,6				90 700	SPE-20996-PA
Hankensbuettel			1980 – 3950	28	60	11 - 17	175	(41)		180 000	SPE-27820-PA
Дацин (информация по 4 проектам)	700-1200	5,1-20,9	300 - 1100		45	9 - 10	7	3,6378 (16,3)	900	0,609 т на 1 скважину	SPE 17848
								(70)	790	706,2	SPE 59275
								3392,1 (31,2)	811	599	SPE 29902
								(70)	1027	12714,29	SPE 100855
Северные Бузачи	400 - 500	21	1500 - 2500		30	316 - 417	60	28000	1500 - 2500	29400	
West Savonburg	245	8	300	21	27	70		119200	н/д	н/д	SPE 99668-MS
Haima			200 - 2000	28	57	300 - 1300	2 - 5				SPE-20996-PA
Сугмутское	2811-2870	22,8	47	18	87,8	1,10		1 000 000	200		
Мамонтовское	1920-1945	14,94	168	23	65	5,16	17,2	316700		≈ 2 400 000	
Ванкор, Як-III-VII	1671	19,1	480	27	34	8,9	15,5	Планируется обработка			

#### Выбор технологии воздействия на пласт

Данные особенности геолого-физического строения пласта позволяют рекомендовать для увеличения нефтеотдачи достаточно большой спектр технологий физико-химического воздействия. Учитывая, что разработка объекта производится горизонтальными и наклонно-вертикальными скважинами, а технологии ФХ МУН на объекте еще не применялись, для первых опытно-промысловых работ необходимо применять такие технологии и составы воздействия на пласт, которые представляют собой однородные системы, не содержащие дисперсных частиц и не способные подвергаться гравитационному и седиментационному разделению в горизонтальном стволе скважин. В этом плане в первую очередь необходимо рассмотреть технологии полимерного воздействия и его разновидности (гелеполимерное, ВУС-полимерное воздействие), по которым имеется большой опыт положительного применения как зарубежными, так и российскими нефтяными компаниями[2]. В связи с повышенной обводненностью пласта Як-III-VII, необходимо для эффективной добычи уменьшить данный фактор, который влияет на конечное нефтеизвлечение (таблица 3.2).

На текущий момент существуют множества методов для борьбы с обводненностью. Учитывая опыт мировых и российских компаний в данном аспекте, самыми эффективными методами повышения охвата заводнением за счет регулирования подвижности нагнетаемой воды являются потокоотклоняющие технологии и полимерное заводнение пласта[3].

Рассмотрим потокоотклоняющие технологии. Для эффективной реализации данной технологии, большое значение имеет правильный выбор скважин кандидатов, отбираемых по следующим критериям[5]:

- высокий коэффициент обводненности добываемой продукции скважин;
- сильное отставание отбора извлекаемых запасов от текущей обводненности;
- наличие значительных остаточных запасов нефти, недостаточно эффективно разрабатываемых методом заводнения;
- высокое среднее значение текущей нефтенасыщенной толщины.

Таблица 3.2 – Критерии применимости потокоотклоняющих технологий

Характеристика	Реком. интервал	Ср. знач. для Як-III-VII
Пластовая температура, °C	<120	34
Вязкость пластовой нефти, мПа·с	<500	8,9
Средняя проницаемость, мД	>20	480
Послойная неоднородность $k_1/k_2^*$	>4	9,4

Окончание табл. 3.2 – Критерии применимости потокоотклоняющих технологий

Характеристика	Реком. интервал	Ср. знач. для Як-III-VII
Расчлененность $K_p$	$>2$	12,2
Обводненность-отбор НИЗ, пункт %	$>10$	44
Обводненность, %	$>70$	68
Компенсация, %	$\sim 100$	87

Потокоотклоняющие технологии относятся к физико-химическим методам увеличения нефтеотдачи. Работы по выравниванию профиля приемистости, иначе говоря, расхода вытесняющего агента, в нагнетательных скважинах направлены на регулирование процесса разработки нефтяных залежей. Главные цели выравнивания - увеличение охвата пласта заводнением по толщине, перераспределение объемов закачки между пластами и пропластками при одновременном воздействии на них вытесняющим агентом. Перед процессом проводят комплекс гидродинамических и геофизических исследований, в том числе с применением индикаторов. Для ограничения либо полного отключения воздействия вытесняющего агента на отдельные интервалы пласта или пропластка по толщине, обработки проводят с применением временно изолирующих материалов. Это могут быть суспензии или эмульсии, осадкообразующие растворы, гелеобразующие или твердеющие материалы на органической или неорганической основе, в том числе водные растворы. Во всех случаях должна быть предусмотрена возможность восстановления первичной, до обработки, приемистости обрабатываемого интервала пласта. В случае необходимости проводят работы по восстановлению и повышению приемистости слабопроницаемых пропластов.

Суть метода: для изменения направления фильтрационных потоков путем закачки водоизолирующих составов в высокопроницаемые промытые зоны с целью их изоляции и образования водонепроницаемого экрана, тем самым направляют потоки в низкопроницаемые пропластки.

Главная цель на данном этапе - изоляция водонасыщенной трещины специальным химическим веществом – гелантом. Это достигается путем продавки геланта в матрицу по трещине и размещение геланта в водопромытую часть матрицы с последующей сшивкой. После процессов сшивания геланта, образовавшийся гель изолирует эту часть. И это приводит к увеличению охвата заводнением.

Движение жидкости по объекту, вероятнее всего, осуществляется по разветвленной сети трещин с линейным характером фильтрации закачиваемой воды. Подтверждающим фактом являются результаты трассерных исследований по очагам скважин А, Б [4], В, Г [6], которые показывают, что значения проницаемостей, рассчитанных из скоростей прихода индикатора, варьируются в широком интервале и достигают значений в  $388 \text{ мкм}^2$ , что на несколько порядков превышает проектное значение проницаемости  $0,471 \text{ мкм}^2$ , т.е. выявленные каналы фильтрации относятся к развитым трещиноватым системам высокопроницаемых каналов (рисунок 3.1).

Второй этап включает в себя непосредственное воздействие на матрицу. После того как мы изолировали трещины, можно начинать процессы увеличения вязкости воды. Это достигается путем полимерного заводнения. Тем самым мы выравниваем фронт вытеснения с проникновением полимера в низкопроницаемый интервал. И дальнейшее вытеснение нефти будет происходить из плохо дренируемых областей, так как, увеличивая вязкость вытесняющего агента, мы увеличиваем коэффициент охвата.

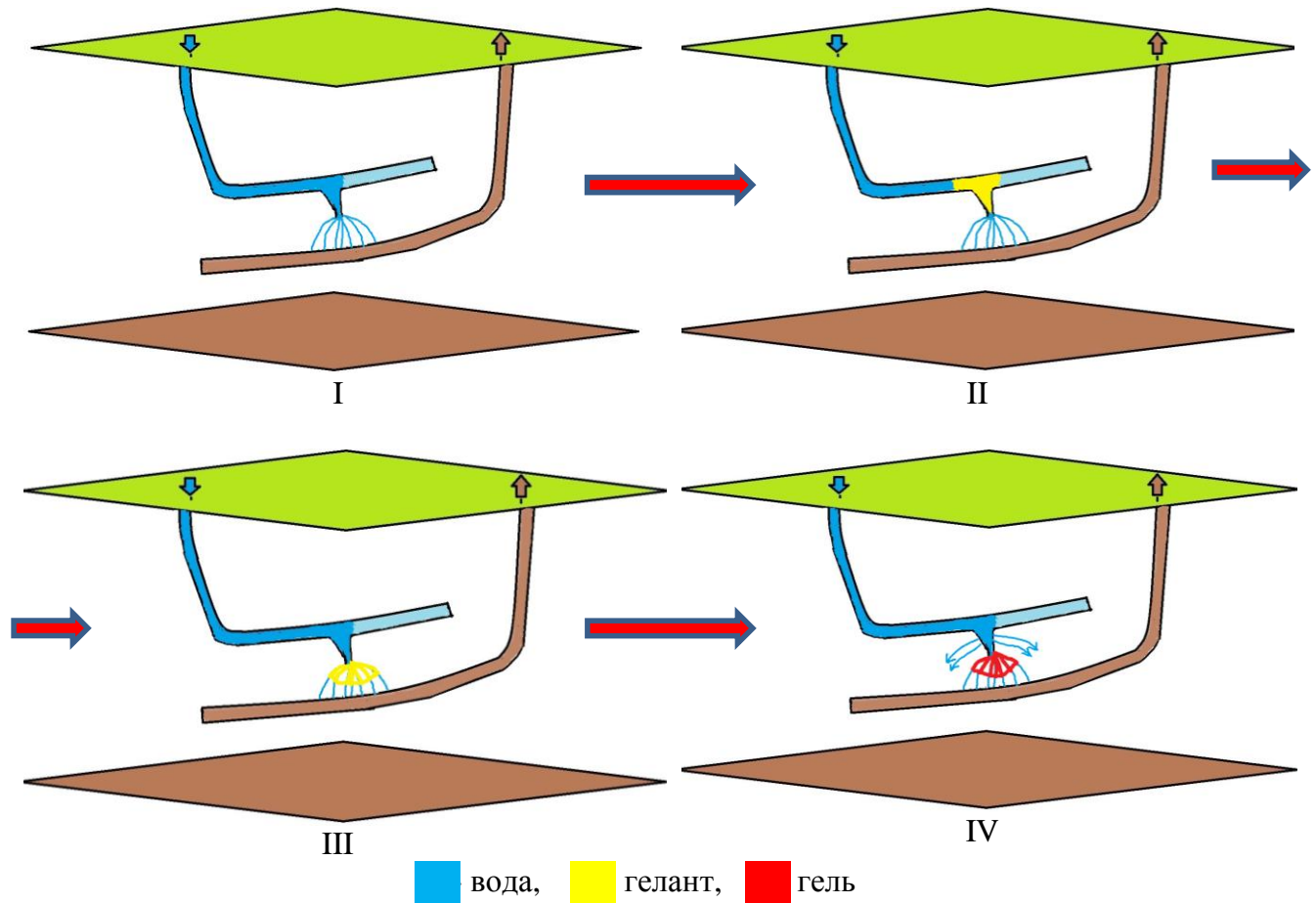


Рисунок 3.1 – Схема размещения геланта

**Технико-экономическое обоснование применения технологии**

Оценку экономической эффективности от применения потокоотклоняющей технологии осуществляли по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = \Delta Q_n (\Pi_n - C_y - H) - 3\text{МУН},$$

где  $\mathcal{E}$  - экономический эффект, руб.;

$\Delta Q_n$  - фактически дополнительно добытая нефть, т;

$\Pi_n$  - средняя цена реализации 1 т нефти, руб./т;

$C_y$  - условно-переменная часть себестоимости добычи 1 т нефти;

$H$  - налог на 1 т добываемой нефти;

$3\text{МУН}$  - затраты на внедрение, руб.

В свою очередь, затраты на внедрение рассчитываются по формуле:

$$3\text{МУН} = C_p \cdot m_p + C_{\text{дост}} + C_{\text{обр}},$$

где  $C_p$  - стоимость 1 т товарной формы реагента, руб.

$m_p$  - масса товарной формы реагента на обработку, т

$C_{\text{дост}}$  - стоимость доставки

$C_{\text{обр}}$  - стоимость проведения обработки.

Цена реализации нефти принята равной 8373,6 руб. за 1 т нефти (без НДС). Себестоимость добычи 1 т нефти – 1529,26 руб. Условно-переменная часть себестоимости принята в размере 25 % от себестоимости, налог на 1 т добываемой нефти составляет 4040,9 руб. Затраты на внедрение в пересчете на стоимость закачки 1 м<sup>3</sup> ГПС составляют 1200 руб./м<sup>3</sup>.

Суммарная ожидаемая дополнительная добыча нефти от 5 скважино-обработок (за исключением резервного участка) составит 8,2 тыс.т. Экономический эффект от обработки составит 16,2 млн. руб. Сводные результаты расчета по участкам приведены в таблице 3.3.



Таблица 3.3 – Сводные результаты прогноза дополнительной добычи по участкам применения потокоотклоняющих технологий объекта Як-III-VII Ванкорского месторождения

№ участка	Наг. скв.	Объем закачки, м <sup>3</sup>	Прогноз дополнительной добычи нефти, т	Экономический эффект, млн. руб.
1	379, 380	3000+2200	3622	8,068
2	556	2500	1488	2,720
3	313	3000	1554	2,539
4	338	2800	1582	2,890
Резервный	326	2700	1548	2,875

**Выводы**

1. Изучены наиболее перспективные механизмы борьбы с обводненностью.
2. Проанализирован огромный опыт, как мировых, так и российских компаний применяющих успешно данные технологии при положительной технологической эффективности на протяжении многих лет. Для прогноза результатов показателей дополнительной добычи нефти и уменьшения обводнения, сравнивались месторождения схожие по геолого-физическим условиям пласта с Ванкорским месторождением.
3. При проведении технико-экономических расчетов, было определено, что целесообразным представляется проведение ОПИ технологии с применением сшитых полимерных систем в малообъемном варианте, с последующим проектированием гелеполимерного циклического заводнения с учетом полученных от ОПИ результатов.
4. Была выбрана методика разработки, предполагающая комбинированный подход в использовании на первом этапе потокоотклоняющих технологий, а на втором этапе - полимерное заводнение.

**Литература**

1. Дополнение к Технологической схеме разработки Ванкорского месторождения, 2009. – С. 20-26
2. Исмагилов Т.А. Применение потокоотклоняющих технологий с учетом механизма обводнения продукции скважин. // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 11. – С. 56-59.
3. Итоговый отчет по трассерным исследованиям фильтрационных потоков пласта Як-III-VII Ванкорского месторождения, ООО «Сиама Мастер», 2015. – С. 5-11
4. Лысенко В.Д. Теория разработки нефтяных месторождений. Теория и практика. – М.: Недра, 1996. – С. 76-83
5. Стрижнев К.В., Громан А.А., Кузьмин М.И. Румянцев Е.А. Обоснование и разработка технологии полимерного заводнения в слоисто-неоднородном пласте для повышения эффективности извлечения запасов. // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 12. – С. 34-37.
6. Трассерные исследования фильтрационных потоков пласта Як3-7 Ванкорского месторождения (район нагнетательных скважин), отчет ООО «Сиама Мастер», 2014 г. – С. 7-12
7. Трассерные исследования фильтрационных потоков пласта Як3-7 Ванкорского месторождения в районе нагнетательных скважин, отчет ООО «Сиама Мастер», 2015 г. – С. 10-14

**References**

1. Dopolnenie k Tehnologicheskoj sheme razrabotki Vankorskogo mestorozhdenija, 2009. – S. 20-26
2. Ismagilov T.A. Primenenie potokootklonjajushhih tehnologij s uchetom mehanizma obvodnenija produkcii skvazhin. // Neftjanoe hozjajstvo. – 2015. – № 11. – S. 56-59.
3. Itogovyj otchet po trassernym issledovanijam fil'tracionnyh potokov plasta Jak-III-VII Vankorskogo mestorozhdenija, ООО «Siam Master», 2015. – S. 5-11
4. Lysenko V.D. Teorija razrabotki neftjanyh mestorozhdenij. Teorija i praktika. – M.: Nedra, 1996. – S. 76-83
5. Strizhnev K.V., Groman A.A., Kuz'min M.I. Rumjanceva E.A. Obosnovanie i razrabotka tehnologii polimernogo zavodnenija v sloisto-neodnorodnom plaste dlja povyshenija jeffektivnosti izvlechenija zasopov. // Neftjanoe hozjajstvo. – 2011. – № 12. – S. 34-37.
6. Trassernye issledovanija fil'tracionnyh potokov plasta Jak3-7 Vankorskogo mestorozhdenija (rajon nagnetatel'nyh skvazhin), otchet ООО «Siam Master», 2014 g. – S. 7-12
7. Trassernye issledovanija fil'tracionnyh potokov plasta Jak3-7 Vankorskogo mestorozhdenija v rajone nagnetatel'nyh skvazhin, otchet ООО «Siam Master», 2015 g. – S. 10-14

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.095

Бирюков С.А.<sup>1</sup>, Розалиев В.Л.<sup>2</sup>, Орлова Ю.А.<sup>3</sup><sup>1</sup>Магистрант,<sup>2,3</sup>доцент, кандидат технических наук,

Волгоградский государственный технический университет

**МЕТОД ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГУБ ЧЕЛОВЕКА В ВИДЕОПОТОКЕ****Аннотация**

В современном мире все большую популярность набирают сервисы и системы для распознавания человеческой речи. Одним из вариантов получения машиной данных о речи является извлечение информации из видеопотока, поиск положения контрольных точек контура губ говорящего и анализ изменения положения точек. В статье представлен метод детектирования движений контура губ человека в видеопотоке с использованием камеры Microsoft Kinect. Описаны основные шаги метода и способ детектирования движений губ. Представленный метод позволяет эффективно распознавать простые движения губ человека в видеопотоке.

**Ключевые слова:** компьютерное зрение, распознавание лица, ключевые точки лица.

Biryukov S.A.<sup>1</sup>, Rosaliev V.L.<sup>2</sup>, Orlova Y.A.<sup>3</sup><sup>1</sup>Undergraduate student,<sup>2,3</sup>Associate professor, PhD in Engineering,

Volgograd State Technical University

**METHOD FOR DETECTION OF HUMAN LIP MOVEMENTS IN THE VIDEO STREAM****Abstract**

In today's world, more services and systems of recognition of human speech are gaining more popularity. One option for obtaining data on the speech is to extract information from video, search positioning of the points of the lips and analyze changing of points position. The article presents a method for detecting human lip contour movement in the video stream using a Microsoft Kinect camera. The basic steps of the method and a method for detecting lip movements are described. The presented method can effectively recognize the simple human lip movements in the video stream.

**Keywords:** computer vision, facial recognition, key point person.

Современные методы выделения нужной информации из видеопотока для распознавания речи недостаточно точны. На распознавание сильно влияет качество камеры, освещенность, угол наклона или поворота головы говорящего. Поэтому разработчики методов и инструментов в данной области стараются создать универсальные, устойчивые к изменению вышеперечисленных условий, алгоритмов и методов, позволяющих достаточно точно выделить губы из видеопотока и проанализировать их движения.

В качестве источника информации для распознавания движений губ может использоваться положение контрольных точек контура губ или лица в целом. В работах [1,2] представленные способы получения контрольных точек контура.

Некоторые исследователи не используют информацию о контрольных точках контура [3]. В качестве входной информации для анализа может служить прямоугольная область губ.

У каждого способа есть свои положительные и отрицательные стороны. В первом случае требуется провести больше вычислительных затрат на моменте поиска контура губ. Во втором случае требуется произвести больше вычислений для обработки области губ, для извлечения неких признаков, которые в последствии поддаются анализу.

В данной работе производится поиск точек контура губ на изображении и последующий анализ движения.

Данную задачу можно разделить на 2 крупных этапа. Первый этап – выделение точек контура на изображении. Второй этап – анализ положения точек и распознавание движения.

**Распознавание точек контура губ**

Для решения проблемы выделения контура губ использовалась камера Microsoft Kinect. Она позволяет в режиме реального времени определять 121 ключевую точку лица человека, из которых 10 контрольных точек внешнего контура губ и 8 внутреннего. Камера специально создавалась для управления компьютерными играми, что говорит о высокой скорости работы камеры и предоставляемых библиотечных методах. [4,5]

Так же, использование камеры Kinect позволяет в задаче распознавания контура губ повысить точность распознавания, т.к. библиотечные методы используют для определения положения точек контура карту глубины и цветное изображение.

В результате распознавания, на данном этапе, определяются 10 точек внешнего контура губ. Нумерация точек контура в методе представлена на рисунке 1.

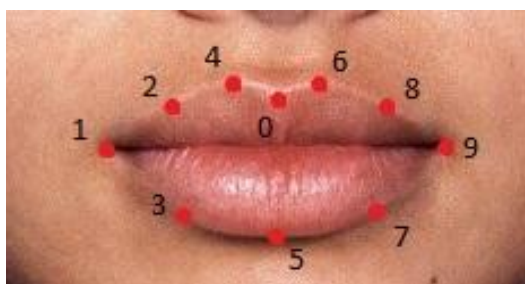


Рис. 1 – Нумерация точек в предложенном методе

### Анализ положения точек

Во время активности, человек не может статично держать голову, и поэтому координаты положения контрольных точек могут меняться даже если не производится никаких действий губами. Для решения этой проблемы можно дополнительно локализовать положение головы в кадре и производить вычисления изменения координат в пределах полученной области, но это приводит к дополнительным вычислительным ресурсам системы.

В данной работе для решения проблемы предлагается отказаться от статической системы координат. Если соединить ключевые точки уголков губ и среднюю верхнюю и нижнюю точки (точки 0-5 и 1-9, рис. 1), то получится новая система координат, начало координат которой перемещается вместе с остальными точками. Относительно данной системы можно однозначно сказать, как изменилось положение точки в пространстве. Схематический пример динамической системы координат представлен на рисунке 2а. Пример полученной системы представлен на рисунке 2б.

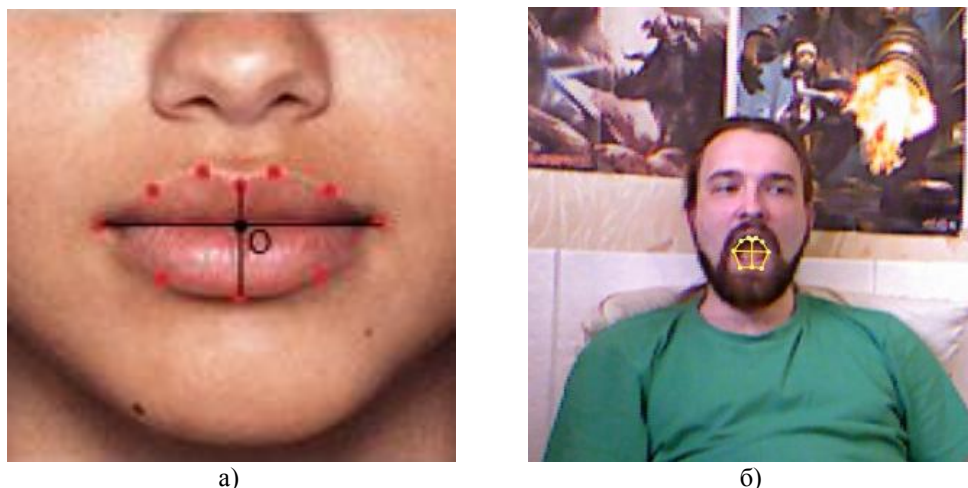


Рис. 2 – Динамическая система координат: а) схематический пример; б) результат

После вычисления положения начала координат требуется определить изменение положения точек. Вычисление координат точек контура в новой системе иногда сильно влияет на производительность метода, поэтому было решено использовать изменение длины отрезка, началом которого является точка начала координат новой системы, а концом – ключевая точка контура.

Так же, в результате экспериментов было выявлено, что для определения движения не требуется вычислять значение изменения длины отрезка для верхних левой и правой точек (точки 4 и 6, рис. 1), т.к. однозначно можно утверждать изменение длины для центральной верхней точки.

Вычисление производится один раз за каждый кадр, начиная со второго входного кадра видеопотока. После определения изменений формируется строка, в которой отражается изменение размера каждого отрезка. Для положительного изменения используется символ «+», для отрицательного – «-». Для исключения погрешности работы камеры, если изменение размеров меньше определенного значения – записывается «0». Получается строка из 8ми символов вида «+-+----++», которая поддается дальнейшему анализу.

### Анализ движения

Анализ выглядит следующим образом. Существует заранее сформированный набор возможных действий. При получении информации об изменении размеров всех интересующих отрезков производится сравнение произошедшего действия с действием из списка. Для этого просто сравниваются отношения количества совпавших символов строки действия из набора и выходной строки к общему количеству символов строки. Во время вычисления сразу определяется максимальное значение отношения. Действие, которое имеет наибольший процент совпадений и будет наиболее вероятным произошедшим действием. Т.к. производится сравнение изменения положения точек между двумя кадрами, количество возможных действий сильно ограничено. А именно это закрытие и открытие рта. Если рот открывается, то размер отрезков всех точек будет увеличиваться, и выходная строка будет иметь наибольшее количество «+». Если рот закрывается, то в выходной строке будут преобладать «-». Если же в данный момент не происходит никаких действий, или изменение размеров не велико, тогда либо губы находятся в статическом положении, либо производится последнее действие, но с достаточно медленной скоростью. То есть, если рот открывался, то при преобладании «0» в выходной строке, вероятно он либо открыт, либо все еще открывается.

### Результаты

В результате работы был получен эффективный метод, позволяющий определять простые действия губ в видеопотоке, получаемого с камеры Microsoft Kinect. Метод достаточно устойчив, в основном благодаря камере, к освещению и дополнительным помехам на лице (очки, борода или усы). Но процесс обнаружения лица при плохом освещении может занять большее время, чем при нормальном, дневном свете.

Скорость работы метода позволяет обрабатывать видеопоток в реальном времени. С камеры получается видеопоток с разрешением 640x480 пикселей и частотой 30 кадров в секунду. При этом, во время работы метода, не наблюдается прерывание потока.

Точность распознавания очень сильно зависит от двух критериев: точности обнаружения контрольных точек и точности определения изменения положения точек. Точность обнаружения контрольных точек достаточно хорошая. Особенностью работы библиотек Kinect в том, что точки контура губ обнаруживаются относительно других контрольных точек головы.

Но основным недостатком метода является то, что производится определение только простых движения. Для определения более сложных действий, например – определения произносимых букв, требуется анализ большего количества кадров с использованием более сложных алгоритмов анализа.

#### Литература

1. Самойлов Д. С. Биотехническая система распознавания фонем русской речи по изображению губ // Молодежный научно-технический вестник: электронный журнал URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/467494.html>
2. Ковшов Е. Е. Система обработки движения губ человека для речевого ввода информации / Е.Е. Ковшов, Т.А. Завистовская // Cloud of science. – 2014. – т. 1, №2. – С. 279 – 291.
3. Zhao, G., Local Spatiotemporal Descriptors for Visual Recognition of Spoken Phrases / Z. Guoying, M. Pietikainen, A.Hadid // Proceedings of the international workshop on Human-centered multimedia. – 2007. – P. 57 – 66.
4. Face Tracking [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj130970.aspx>
5. Kinect [Электронный ресурс] – 2016 – Режим доступа : <https://en.wikipedia.org/wiki/Kinect>

#### References

1. Samojlov D. S. Biotechnicheskaja sistema raspoznavanija fonem ruskoj rechi po izobrazheniju губ // Molodezhnyj nauchno-tehnicheskij vestnik: electronic journal URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/467494.html>
2. Kovshov E. E. Sistema obrabotki dvizhenija губ cheloveka dlja rechevogo vvoda informacii / E.E. Kovshov, T.A. Zavistovskaja // Cloud of science. – 2014. – v. 1, №2. – С. 279 – 291.
3. Zhao, G., Local Spatiotemporal Descriptors for Visual Recognition of Spoken Phrases / Z. Guoying, M. Pietikainen, A.Hadid // Proceedings of the international workshop on Human-centered multimedia. – 2007. – P. 57 – 66.
4. Face Tracking [Electronic resource] – Access mode: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj130970.aspx>
5. Kinect [Electronic resource] – 2016 – Access mode: <https://en.wikipedia.org/wiki/Kinect>

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.184

Владимиров С.Н.<sup>1</sup>, Ермакова Л.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-1423-8207, кандидат технических наук, доцент,  
Московский государственный машиностроительный университет,

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-6493-0918, кандидат технических наук, доцент,  
Московский государственный машиностроительный университет.

#### МЕТОДЫ ПРЕССОВАНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

#### Аннотация

*Переработка твердых бытовых отходов в крупногабаритные брикетированные блоки является в России относительно новым направлением оптимизации условий эксплуатации полигонов ТБО. Брикетирование и прессование отходов наиболее оптимально в два технологических приема: повышение давления прессования путем снижения рабочей поверхности, на которую распределяется прилагаемая нагрузка, и выполнение операции прессования в сопровождении активных сдвиговых деформаций материала в виде сложной комбинации его радиального и осевого перемещения. Это повышает плотность ТБО, способствует образованию взаимосвязанной структуры и ее упрочнению.*

**Ключевые слова:** ТБО, прессование, утилизация, брикетирование.

Vladimirov S.N.<sup>1</sup>, Ermakova L.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-1423-8207, PhD in Engineering, Associate professor,  
Moscow state University of mechanical engineering;

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-6493-0918, PhD in Engineering, Associate professor,  
Moscow state University of mechanical engineering.

#### METHODS OF COMPACTION OF SOLID WASTE

#### Abstract

*Recycling of municipal solid waste in large blocks in Russia is a relatively new area of optimization the operating conditions of the landfills. Compression waste optimally in two technology acceptance: increasing pressing pressure by reducing the operating surface on which are distributed the attached load, and performing the pressing operation accompanied by shear deformation of the active material in the form of a complex combination of radial and axial movement. This increases the density of waste, promotes the formation of interconnected structures and its strengthening.*

**Keywords:** municipal solid waste, compaction, recycling, briquetting.

Переработка твердых бытовых отходов в крупногабаритные брикетированные блоки является в России относительно новым, находящемся на начальном этапе своего развития направлением оптимизации условий эксплуатации полигонов ТБО. Отечественной промышленностью предназначенное для указанных целей оборудование выпускается в недостаточном количестве, а перерабатывающие ТБО предприятия города Москвы и других регионов в настоящее время комплектуются главным образом прессовыми агрегатами иностранных фирм. Вместе с тем, проведенный информационный поиск по конструкторским разработкам оборудования для изготовления крупногабаритных блоков ТБО показал на широкий диапазон технических средств по реализации фазы брикетирования ТБО как в РФ, так и за рубежом.

В результате литературного обзора возможно сделать выводы, что действующие на данном этапе силовые режимы брикетирования ТБО применительно к действующим условиям их переработки являются наиболее приемлемыми и

технологически оправданными. Однако, из этого не следует, что существующие режимы прессования обеспечивают в полной и достаточной мере получение блоков ТБО требуемого качества и, прежде всего, достаточной прочности.

Осуществляемый на перерабатывающих предприятиях процесс компактирования неразрывно связан с необходимостью выполнения в качестве вынужденной меры дополнительных операционных действий по армированию сформованных блоков методом обвязки. Такой технологический прием значительно усложняет процесс переработки ТБО и завышает себестоимость брикетирования объектов.

Рассмотрим некоторые возможные варианты решения указанной задачи, ориентированные на принципиально новый подход к схеме брикетирования ТБО. Предлагаемая схема позволяет реализовать в максимальной мере два технологических приема используемых при прессовании дисперсных материалов в других областях.

*Прием первый.* Повышение давления прессования не увеличением сжимающего усилия, а снижением рабочей поверхности, на которую распределяется прилагаемая нагрузка.

*Прием второй.* Выполнение операции прессования в сопровождении активных сдвиговых деформаций материала не параллельными слоями (как это имеет место при традиционной схеме прессования), а в виде сложной комбинации его радиального и осевого перемещения.

Первый прием повышает плотность, а второй способствует образованию взаимосвязанной структуры объекта и его упрочнению.

Технически предлагаемая схема компактирования может быть решена методами «прошивки» и раструбного прессования. Оба метода имеют общую идеологию.

По методу прошивки после предварительного уплотнения материала в него внедряются формующие органы значительно меньшего поперечного сечения, чем пресс-камера. Под действием усилия (того же, что и при предварительном уплотнении) формующие органы сжимают продукт уже при значительно большем давлении. Величина количественного параметра должна определяться двумя факторами: с одной стороны - достижением максимального давления, обеспечивающим предельно возможную плотность ТБО, и с другой - соображениями конструктивного и технологического характера.

Кроме того, в процессе прессования методом прошивки создаются наиболее благоприятные условия для более активного вытеснения межкомпонентных пустот и возникновению объемных сдвиговых деформаций, приводящих к образованию взаимосвязанной структуры отдельных фрагментов ТБО.

По методу раструбного прессования процесс брикетирования протекает в пресс-инструменте, имеющим свободный выход. Необходимое противодействие прессования со стороны формующего канала создается за счет сил трения материала о стенки матрицы.

Поперечное сечение пресс-камеры (пуансона) формующего узла выполнено значительно меньшим (в 2,5-3 раза), чем проходное сечение узла противодействия. В результате распределение усилия прессования на материал будет более концентрированным, а кратность увеличения давления прессования окажется равной соотношению площадей проходного сечения узлов противодействия и формования.

Размещение между узлами противодействия и прессования конического раструба и выполнение торца пуансона в виде выпуклого конуса способствует интенсивному перераспределению слоев уплотняемого материала, как в осевом, так и в радиальном направлениях, их взаимовнедрению друг в друга и, как следствие, образованию прочной, однородной структуры блока. Причем, данный процесс протекает наиболее эффективно, если между поверхностями торцевого конуса пуансона и раструба образован прямой угол.

В результате получаемые на предлагаемом устройстве блоки обретают повышенную плотность и прочность, что обеспечит им сохранение целостности при транспортировании и захоронении и исключит необходимость их обвязки. Это позволит в перспективе отказаться от используемого ранее в больших количествах обвязочного материала, повысить экономичность процесса брикетирования ТБО и снизить себестоимость производства блоков. Кроме того, повышение давления прессования благодаря предлагаемому устройству, способствует формированию блоков меньшего удельного объема, что приводит к более эффективной перевозке брикетированных отходов и более рациональному использованию площадей их захоронения. Так, увеличение давления прессования с 15-20 МПа до 50 МПа снижает удельный объем брикетируемого ТБО в среднем на 15-18%.

При выполнении поперечного сечения формующего узла меньшим по сравнению с поперечным сечением узла противодействия, наиболее рациональной оказывается цилиндрическая форма пуансона и пресс-камеры. Она упрощает конструкцию узла формования, повышает технологичность его изготовления и сборку. Использование данного устройства снижает также общую себестоимость брикетировочной установки, в составе которой оно применяется, делает её более компактной и менее металлоемкой.

Повышение эффективности процесса брикетирования ТБО может быть достигнуто разбивкой потока на технологические русла, каждый из которых специализируется на переработке одной группы ТБО с общими физико-механическими свойствами. Это не только благоприятно сказывается на технологичности переработки отходов давлением, но и расширяет диапазон вариантов их утилизации, в число которых входит использование прессуемых материалов в качестве вторичного сырья. Таким сырьем могут быть компоненты для производства нетрадиционных низкокалорийных видов топлива (бумага, древесина, текстиль, картон), полимерных материалов (пластиковые бутылки, полиэтиленовые пакеты), армирующих элементов (провокола, фрагменты металлических конструкций), наполнителей строительных материалов (керамика, стекло, кирпичный бой) и т.д. В результате в народном хозяйстве появляется дополнительный источник полезных материалов, а доля ТБО, подлежащая захоронению, значительно сокращается.

Предлагаемые технологические мероприятия относятся к разряду затратных и связаны с необходимостью приобретения дополнительного оборудования и материалов. Однако расходы на модернизацию технологического процесса за достаточно короткие сроки могут быть вполне окупаемы ожидаемым повышением их качества и возможностью использования в виде вторичного сырья в народном хозяйстве.

## Литература

1. Ермакова Л.С., Гонопольский А.М. Безобязочная технология компактирования твердых бытовых отходов в крупногабаритные блоки // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2010. - №11.

## References

1. Ermakova L.S., Gonopol'skij A.M. Bezobvjazochnaja tehnologija kompaktirovanija tverdyh bytovyh othodov v krupnogabaritnye bloki // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. - 2010. - №11.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.180

Вытчиков Ю.С.<sup>1</sup>, Беляков И.Г.<sup>2</sup>, Сапарёв М.Е.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Кандидат технических наук,

Самарский государственный архитектурно-строительный университет,

<sup>2</sup>Заместитель директора центра «Энергосбережение в строительстве»

ФГБОУ ВО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет»,

<sup>3</sup>Кандидат технических наук,

Самарский государственный архитектурно-строительный университет

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ СТРОИТЕЛЬНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ В УСЛОВИЯХ ПРЕРЫВИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ

### Аннотация

В статье рассматривается математическое моделирование процесса нестационарной теплопередачи через ограждающие конструкции, эксплуатируемые в условиях прерывистого отопления. На основе изложенной модели представлены результаты расчета различных вариантов однослойных и многослойных наружных стен. Приведен сравнительный анализ времени нагрева строительных ограждающих конструкций при наружном и внутреннем утеплении.

**Ключевые слова:** нестационарная теплопередача, ограждающая конструкция, время нагрева, энергозатраты.

Vytchikov Y.S.<sup>1</sup>, Belyakov I.G.<sup>2</sup>, Saparev M.E.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering,

Samara State University of Architecture and Civil Engineering,

<sup>2</sup>Deputy Director of the Center «Energy saving in construction»

FGBOU IN «Samara State University of Civil Engineering»,

<sup>3</sup>PhD in Engineering,

Samara State University of Civil Engineering

## MATHEMATICAL SIMULATION OF NONSTATIONARY PROCESS OF HEAT TRANSFER THROUGH THE BUILDING CLADDING STRUCTURES IN CONDITIONS OF INTERMITTENT HEATING

### Abstract

The article deals with the mathematical modeling of unsteady heat transfer through the building envelope, operated under intermittent heating. Based on the described model developed approximate analytical method for determining the time of heating the building envelope, to check which has been applied an exact solution for single-layer walls. The results of the calculation of the various options single- and multilayer outer walls. A comparative analysis of the heating time of building walling with external and internal insulation.

**Keywords:** unsteady heat transfer, cladding, heating time, energy.

Теплотехнический расчет строительные ограждающие конструкции зданий и сооружений, эксплуатируемых периодически не более трёх дней в неделю, выполняется согласно СП 50.13330.2012 исходя лишь из обеспечения современных санитарно-гигиенических и комфортных условий. К таким зданиям относятся дачные дома, загородные коттеджи, лыжные базы, дома отдыха выходного дня и т.д.

Несмотря на то, что условие энергосбережения на указанные выше здания не распространяется, вопросы экономии энергии при прогреве жилых помещений весьма актуальны.

Исследованию процессов тепловлажностного режима зданий, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления, посвящены работы [1÷8].

В работе [1] представлены результаты решения задачи нестационарной теплопроводности в однослойной наружной стене при одностороннем её нагреве со стороны внутренней поверхности в графической форме. Удельный тепловой поток согласно принятым допущениям изменялся скачкообразно в начальный момент времени.

Для решения задачи использовался численный метод.

Приближенное аналитическое решение внутренней и краевой задачи нестационарной теплопроводности для однослойной плоской стенки получено Семёновым Б.А. в работе [2].

Для выбора конструктивного решения ограждающих конструкций получим аналитические зависимости для времени нагрева и количества затрачиваемого тепла на отопление помещений, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления.

Рассмотрим решение краевой задачи для однослойной плоской стены при значении критерия Био в пределах от 0,1 до 100.

На рис. 1 представлена схематизация процесса нагрева наружной стены в условиях краевой задачи.

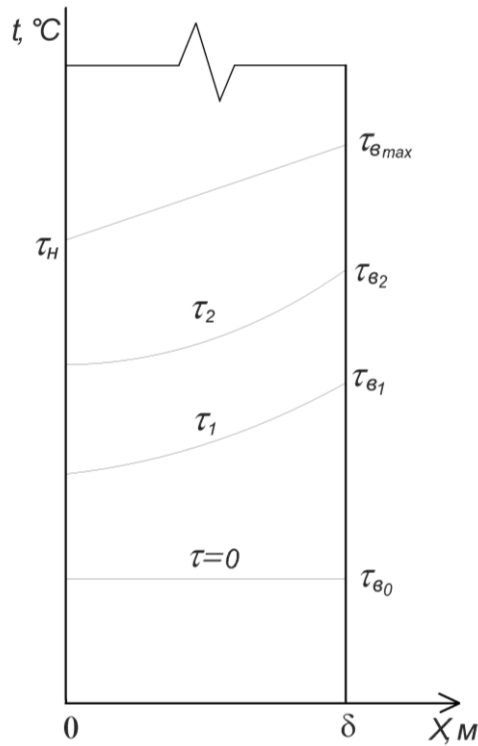


Рис. 1 – Схематизация процесса нагрева наружной стены в условиях краевой задачи

Математическая постановка краевой задачи нестационарной теплопроводности имеет следующий вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}; \quad 0 \leq x \leq \delta; \quad \tau > 0 \quad (1)$$

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = q_{om}; \quad (2)$$

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_n (\tau_n - t_n); \quad (3)$$

$$t \Big|_{\tau=0} = t_n; \quad (4)$$

Для решения краевой задачи применим операционный метод, рассмотренный в [3].

Аналитическая зависимость для определения относительной температуры имеет вид:

$$\vartheta(X, \tau) = 1 + Ki \cdot X + \frac{Ki}{Bi} - Ki \sum_{n=1}^{\infty} D_n \cos[\mu_n(1-X)] \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo). \quad (5)$$

$$\vartheta = \frac{t}{t_n}; \quad t = f(x, \tau); \quad X = \frac{x}{\delta};$$

$$D_n = \frac{2(\mu_n^2 + Bi^2)}{\mu_n^2(\mu_n^2 + Bi^2 + Bi)} - \text{безразмерный коэффициент};$$

$$\mu_n - \text{корень трансцендентного уравнения, } ctg \mu_n = \frac{\mu_n}{Bi};$$

$$Ki = \frac{q \cdot \delta}{\lambda \cdot t_n} - \text{критерий Кирпичёва};$$

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{\delta^2} - \text{критерий Фурье};$$

$$Bi = \frac{\alpha \cdot \delta}{\lambda} - \text{критерий Био}.$$

Полагая в формуле (5)  $X=1$ , получим выражение для определения относительной температуры на внутренней поверхности наружной стены



$$\vartheta(1, \tau) = 1 + Ki + \frac{Ki}{Bi} - Ki \sum_{n=1}^{\infty} D_n \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo). \quad (6)$$

Введем понятие безразмерной температуры внутренней поверхности стены, определяемой по формуле

$$\Theta_{\epsilon} = \frac{\tau_{\epsilon} - \tau_n}{\tau_{\epsilon \max} - \tau_n}, \quad (7)$$

где  $\tau_{\epsilon}$  - температура внутренней поверхности наружной стены, °C;

$\tau_n$  - температура наружного воздуха, °C;

$\tau_{\epsilon \max}$  - максимальное значение температуры внутренней поверхности наружной стены, соответствующее стационарному тепловому режиму, °C.

Тогда формула, связывающая величины  $\vartheta(1, \tau)$  и  $\Theta_{\epsilon}$ , примет вид:

$$\vartheta(1, \tau) = 1 + \frac{(R_0 \cdot \alpha_{\epsilon} - 1)(t_{\epsilon} - t_n)}{t_n \cdot R_0 \cdot \alpha_{\epsilon}} \Theta_{\epsilon} \quad (8)$$

Расчет по формуле (6) производился для однослойной наружной стены, выполненной в виде кладки из пустотелых керамзитобетонных камней на цементно-песчаном растворе.

При выполнении расчета были приняты следующие исходные данные:  $\delta = 0,39$  м;  $c = 840$  Дж/кг·°C;  $\rho = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda = 0,24$  Вт/(м·°C);  $\alpha_{\epsilon} = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\alpha_n = 23$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $t_n = -30$  °C;  $t_{\epsilon} = 22$  °C.

Результаты расчета по формулам (6) и (8) представлены на рис. 2 в виде зависимости безразмерной температуры внутренней поверхности наружной стены от критерия Фурье.

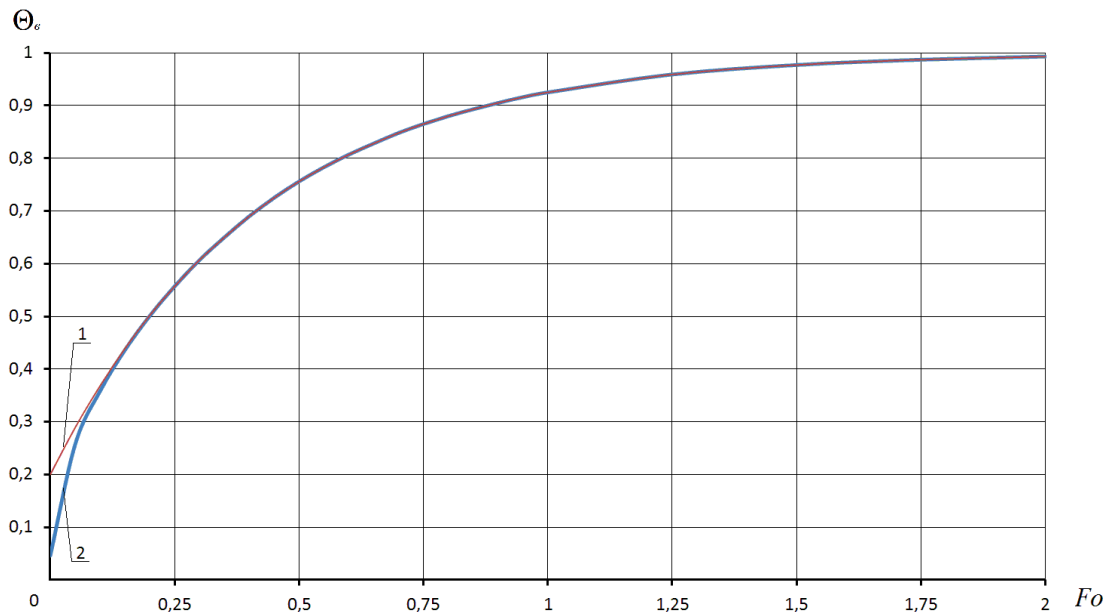


Рис. 2 – Зависимости безразмерной температуры внутренней поверхности наружной стены от критерия Фурье

Кривая 1 получена для случая регулярного режима нагрева, используя лишь один корень  $\mu_1$  трансцендентного уравнения, кривая 2 – при использовании шести членов ряда.

Анализ представленных данных на рисунке 2 показал, что при значениях критерия  $Fo > 0,2$  в целях упрощения решения задачи можно использовать лишь один член ряда.

Запишем выражение для времени нагрева наружной стены, полагая в формуле (6)  $X=1$

$$\tau_n = -\frac{\delta^2}{\mu_1^2 \cdot a} \ln \frac{1 + Ki + \frac{Ki}{Bi} - 1 - \frac{(R_0 \cdot \alpha_{\epsilon} - 1)(t_{\epsilon} - t_n)}{t_n \cdot R_0 \cdot \alpha_{\epsilon}} \Theta_{\epsilon}}{Ki \cdot D_1}, \text{ с.} \quad (9)$$

Задав в формуле (9) значением  $\Theta_{\epsilon} = 0,95$ , можно определить время нагрева наружной стены.

Задача по определению энергозатрат и времени нагрева ограждающих конструкций, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления, может быть решена приближенным аналитическим методом, предлагаемым авторами данной статьи.

При разработке приближенного метода использовалась формула для определения времени нагрева, приведенная в работе [2]

$$\tau_n = 2 \frac{Q_n}{q_{om}} \frac{1 + 2\phi}{1 + \phi}, \text{ с}, \quad (10)$$

где  $Q_n$  - количество тепла, затрачиваемое на нагрев квадратного метра стены, кДж/м<sup>2</sup>;

$q_{om}$  - удельная тепловая мощность системы отопления, Вт/м<sup>2</sup>;

$\phi$  - безразмерный критерий граничных условий

$$\phi = \frac{R_n}{R_n + R_k},$$

$$R_n = \frac{1}{\alpha_n}$$

$\alpha_n$  - термическое сопротивление процесса теплопередачи, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;

$$R_k = \sum_{i=1}^n R_i$$

- термическое сопротивление многослойной наружной стены, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$$

$\lambda_i$  - термическое сопротивление i-го слоя наружной стены, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт.

По формуле (10) определяется время нагрева многослойной наружной стены до достижения относительной избыточной температуры её внутренней поверхности, равной 0,95.

Удельные затраты тепловой энергии на нагрев многослойной наружной стены при наличии дежурного отопления определим по формуле

$$Q_n = \sum_{i=1}^n c_i \cdot \rho_i \cdot \delta_i \cdot \Delta \tau_i, \text{ кДж/м}^2, \quad (11)$$

где  $c_i$  - удельная теплоемкость i-го слоя стены, кДж/кг·°C;

$\rho_i$  - плотность i-го слоя наружной стены, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta_i$  - толщина i-го слоя наружной стены, м.

Изменение температуры i-го слоя стены находим по формуле

$$\Delta \tau_i = t_{s2} - t_{s1} - \frac{t_{s2} - t_{s1}}{2R_0} \left( \frac{2}{\alpha_s} + \sum_{i=1}^{i-1} R_i + \sum_{i=1}^i R_i \right), \text{ °C}, \quad (12)$$

где  $R_0$  - сопротивление теплопередаче глади наружной стены, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;

$t_{s1}$ ,  $t_{s2}$  - температуры внутреннего воздуха при работе дежурного отопления на расчетном режиме соответственно, °C.

Для однослойной наружной стены рекомендуется определять изменение её температуры по формуле

$$\Delta \tau_i = 0,5(t_{s2} - t_{s1}) - \frac{t_{s2} - t_{s1}}{2R_0} \left( \frac{1}{\alpha_s} - \frac{1}{\alpha_n} \right), \text{ °C}, \quad (13)$$

При отсутствии дежурного отопления формулы (12) и (13) можно применить, заменив температуру  $t_{s1}$  на температуру наружного воздуха  $t_n$ .

С целью оценки точности приближенного аналитического метода определения времени нагрева ограждающих конструкций авторами был выполнен теплотехнический расчет четырех вариантов исполнения наружных стен.

Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчета процесса нагрева однослойных наружных стен

№ исполнения	Конструкция наружной стены	Сопротивление теплопередаче $R_0$ , (м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	Удельные энергозатраты $Q_n$ , кДж/м <sup>2</sup>	Время нагрева наружной стены $\tau_n$ , ч		Относительная погрешность, %
				точное решение	приближенное решение	
1	Кладка из газобетонных блоков на клеевом растворе толщиной 0,4 м, плотностью 600 кг/м <sup>3</sup>	2,66	5102	164	147,3	10,2
2	Кладка из керамзитобетонных камней из беспесчаного керамзитобетона на теплом растворе толщиной 0,39 м, плотностью 600 кг/м <sup>3</sup>	2,95	4989	188	164	12,8

Окончание табл. 1 – Результаты расчета процесса нагрева однослойных наружных стен

№ исполнения	Конструкция наружной стены	Сопротивление теплопередаче $R_0$ , (м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	Удельные энергозатраты $Q_n$ , кДж/м <sup>2</sup>	Время нагрева наружной стены $\tau_n$ , ч		Относительная погрешность, %
3	Наружная стена из деревянного бруса толщиной 0,25 м, плотностью 500 кг/м <sup>3</sup>	1,94	7200	168	153	8,9
4	Кладка из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной 0,64 м	1,0	24475	296	274	7,4

Из данных, представленных в таблице 1, следует, что погрешность приближенного аналитического метода составила от 7,4 до 12,8 %.

Используя изложенный выше приближенный аналитический метод, был выполнен расчет процесса нагрева трёх вариантов исполнения утепленных наружных стен из силикатного кирпича, представленных на рис. 3-5.

Результаты расчета процесса нагрева многослойных наружных стен сведены в таблицу 2.

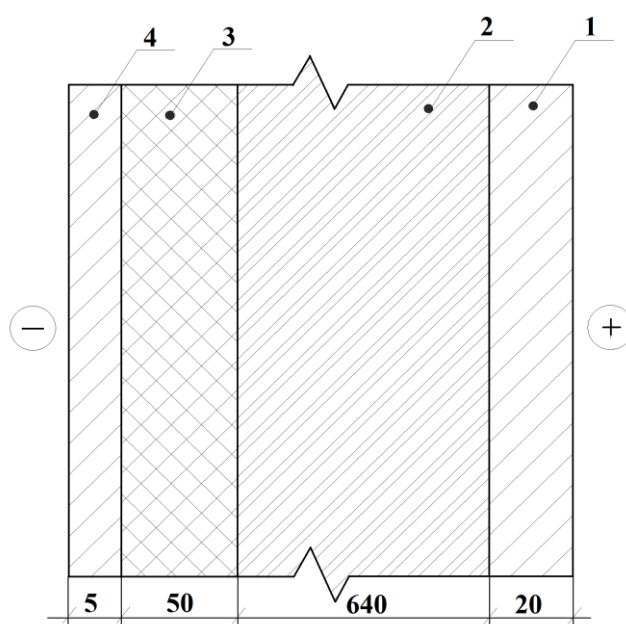


Рис. 3 – Конструкция наружной стены, утепленная с наружной стороны пеноплексом:

1 – цементно-песчаный раствор ( $\rho_1=1800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_1=0,76$  Вт/(м·°C);  $c_1=0,84$  кДж/кг·°C);

2 – кладка из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе ( $\rho_2=1800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_2=0,76$  Вт/(м·°C);  $c_2=0,88$  кДж/кг·°C);

3 – пеноплекс ( $\rho_3=30$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_3=0,03$  Вт/(м·°C);  $c_3=1,34$  кДж/кг·°C);

4 – фактурный слой фасадной системы ( $\rho_4=1800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_4=0,76$  Вт/(м·°C);  $c_4=0,84$  кДж/кг·°C)

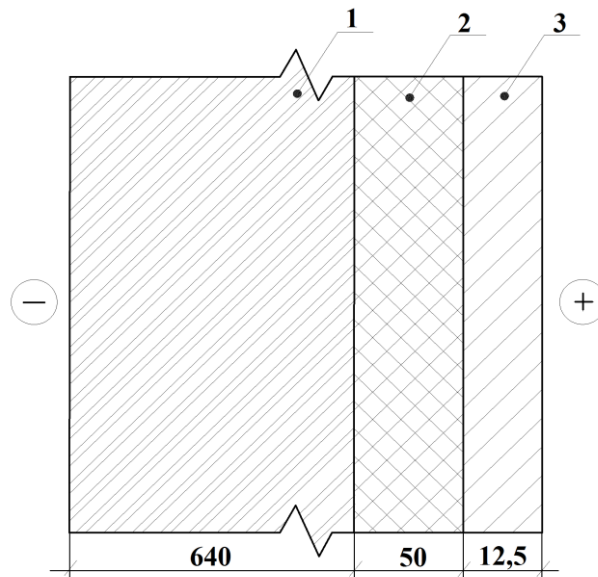


Рис. 4 – Конструкция кирпичной наружной стены, утепленная с внутренней стороны пеноплексом:

- 1 – гипсокартон ( $\rho_1=800 \text{ кг/м}^3$ ;  $\lambda_1=0,19 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ ;  $c_1=0,84 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$ );  
 2 – пеноплекс ( $\rho_2=30 \text{ кг/м}^3$ ;  $\lambda_2=0,03 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ ;  $c_2=1,34 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$ );  
 3 – силикатный кирпич ( $\rho_3=1800 \text{ кг/м}^3$ ;  $\lambda_3=0,76 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ ;  $c_3=0,88 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$ ).

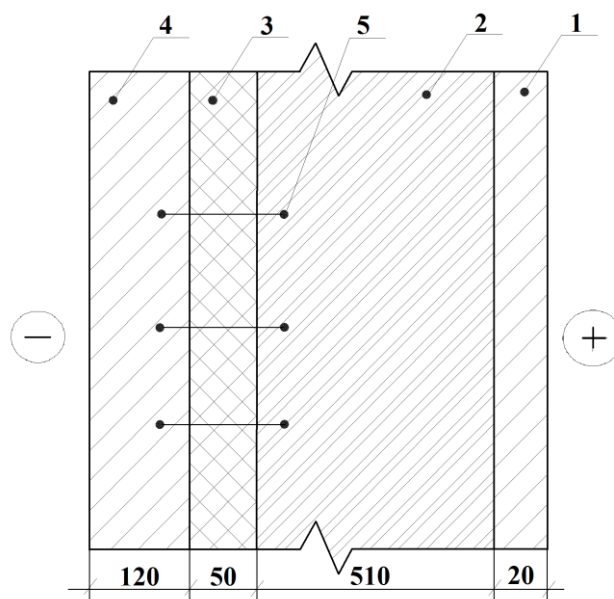


Рис. 5 – Конструкция слоистой кладки из кирпича:

- 1 – цементно-песчаный раствор ( $\rho_1=1800 \text{ кг/м}^3$ ;  $\lambda_1=0,76 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ ;  $c_1=0,84 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$ );  
 2 – силикатный кирпич ( $\rho_2=1800 \text{ кг/м}^3$ ;  $\lambda_2=0,76 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ ;  $c_2=0,88 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$ );  
 3 – пеноплекс ( $\rho_3=30 \text{ кг/м}^3$ ;  $\lambda_3=0,03 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ ;  $c_3=1,34 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$ );  
 4 – керамический кирпич ( $\rho_4=1600 \text{ кг/м}^3$ ;  $\lambda_4=0,58 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ ;  $c_4=0,88 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$ );  
 5 – гибкие связи

Таблица 2 – Результаты расчета процесса нагрева утепленных наружных стен

№ исполнения	Вид наружной стены	Сопротивление теплопередаче $R_0$ , $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$	Удельные энергозатраты $Q_n$ , $\text{кДж/м}^2$	Время нагрева наружной стены $\tau_n$ , ч
1	Утепленная с наружной поверхности (рис.3)	2,7	10086	295
2	Утепленная с внутренней поверхности (рис.4)	2,74	2190	65
3	Слоистая кладка (рис.5)	2,73	8459	251

Руководствуясь данными, приведенными в таблице 2, можно сделать вывод о том, что наименьшие энергозатраты и минимальное время нагрева имеет наружная стена, утепленная изнутри пеноплексом (исполнение 2).

Оценка влажностного режима, выполненная с помощью метода безразмерных характеристик [9], показала на отсутствие накопления в ней влаги в период эксплуатации здания.

### Выводы

Представлено точное и приближенное решение задачи нестационарной теплопередачи через ограждающие конструкции в условиях прерывистого отопления.

Получены аналитические зависимости для определения удельных энергозатрат и времени нагрева однослойных и многослойных наружных стен при наличии и отсутствии дежурного отопления.

Погрешность приближенного метода составила от 7,4 до 12,8 % в зависимости от сопротивления теплопередаче наружных стен.

Анализ динамических характеристик многослойных утепленных кирпичных стен показал, что минимальные энергозатраты и минимальное время нагрева имеет наружная стена, утепленная изнутри пеноплексом, максимальные – при наружном утеплении.

### Литература

1. Богословский В.Н. Тепловой режим здания. М.: Стройиздат. 1979. 248 с.
2. Семенов Б.А. Нестационарная теплопередача и эффективность теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т. 1996. 176 с.
3. Ковалевский В.И., Бойков Г.П. Методы теплового расчета экранной изоляции. М.: Энергия. 1974. 199 с.
4. Малявина Е.Г., Петров Д.Ю. Сопряженный расчет нестационарного теплового режима водяной системы отопления и здания // Жилищное строительство. 2013. № 6. С. 66-69.
5. Малявина Е.Г., Асатов Р.Р. Влияние теплового режима наружных ограждающих конструкций на нагрузку системы отопления при прерывистой подаче теплоты // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 324-327.
6. Анисимова Е.Ю. Энергоэффективность теплового режима здания при использовании оптимального режима прерывистого отопления // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 38 (297). С. 55-59.
7. Панферов В.И., Анисимова Е.Ю. Анализ возможности экономии тепловой энергии при прерывистом режиме отопления // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2008. № 12(112). С. 30-37.
8. Горшков А.С., Рымкевич П.П. Диаграммный метод описания нестационарной теплопроводности // Инженерно-строительный журнал. Санкт-Петербург. 2015. № 8. С. 68-82.
9. Выходчиков Ю.С., Беляков И.Г. Исследование влажностного режима строительных ограждающих конструкций с помощью метода безразмерных характеристик // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1998. № 3. С. 76-78.

### References

1. Bogoslovskii V.N. Teplovoi rezhim zdaniya. M.: Stroiizdat. 1979. 248 s.
2. Semenov B.A. Nestatsionarnaya teploperedacha i effektivnost' teplozashchity ograzhdayushchikh konstruksii zdanii. Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t. 1996. 176 s.
3. Kovalevskii V.I., Boikov G.P. Metody teplovogo rascheta ekrannoi izolyatsii. M.: Energiya. 1974. 199 s.
4. Malyavina E.G., Petrov D.Yu. Sopryazhennyi raschet nestatsionarnogo teplovogo rezhima vodyanoi sistemy otopeniya i zdaniya // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2013. № 6. S. 66-69.
5. Malyavina E.G., Asatov R.R. Vliyanie teplovogo rezhima naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruksii na nagruzku sistemy otopeniya pri preryvistoi podache teploty // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2010. № 3. S. 324-327.
6. Anisimova E.Yu. Energoeffektivnost' teplovogo rezhima zdaniya pri ispol'zovanii optimal'nogo rezhima preryvistogo otopeniya // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2012. № 38 (297). S. 55-59.
7. Panferov V.I., Anisimova E.Yu. Analiz vozmozhnosti ekonomii teplovoi energii pri preryvistom rezhime otopeniya // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2008. № 12(112). S. 30-37.
8. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P. Diagrammnyi metod opisaniya nestatsionarnoi teploprovodnosti // Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal. Sankt-Peterburg. 2015. № 8. S. 68-82.
9. Vytchikov Yu.S., Belyakov I.G. Issledovanie vlazhnostnogo rezhima stroitel'nykh ograzhdayushchikh konstruksii s pomoshch'yu metoda bezrazmernykh kharakteristik // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo. 1998. № 3. S. 76-78.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.016

Вязигин В.Л.<sup>1</sup>, Вершинин И.М.<sup>2</sup>, Сизиков А.В.<sup>3</sup>, Тенюнин С.В.<sup>4</sup>, Черкасова А.В.<sup>5</sup><sup>1</sup>Кандидат технических наук,<sup>2</sup>кандидат технических наук,<sup>3,4,5</sup>магистрант,

Югорский государственный университет

## КРИТЕРИИ ВЫБОРА ИСТОЧНИКОВ СВЕТА ДЛЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Аннотация

В статье строится алгоритм сравнения вариантов позволяющий проводить достаточно объективный выбор среди предлагаемых промышленностью для использования источников света, учитывающий как их технико-экономические характеристики, так и экономические условия региона применения.

**Ключевые слова:** энергозатраты, освещение, промышленность.

Vyazigin V.L.<sup>1</sup>, Vershinin I.M.<sup>2</sup>, Sizikov A.V.<sup>3</sup>, Tenyunin S.V.<sup>4</sup>, Cherkasova A.V.<sup>5</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering,<sup>2</sup>PhD in Engineering,<sup>3,4,5</sup>master student,

Ugra State University

## SELECTION CRITERIA OF LIGHT SOURCES FOR LIGHTING SYSTEMS

Abstract

The article considers introduction of an algorithm which allows the comparison of options to carry out an objective choice among the industry proposed light sources, taking into account their technical and economic characteristics and economic conditions of the application region.

**Keywords:** energy consumption, lighting, industry.

Анализ мероприятий, предлагаемых после энергоаудита многих потребителей, показывает, что одно из ведущих мест среди них занимают мероприятия в области электрического освещения.

Пути энергосбережения в этом направлении многообразны – это рационализация управления электрическим освещением, правильное размещение светильников в помещении, целесообразный выбор высоты их размещения, применение светильников с рациональной кривой силы света, широкое использование местного освещения и др. Однако ведущая роль отводится выбору оптимального источника света (ИС) [1].

При решении этого вопроса достаточно часто следуют рекомендациям рекламодателей, в качестве которых выступают производители и продавцы ИС, являющиеся своеобразными законодателями моды. В настоящее время такими «модными» ИС стали светодиодные источники света (СДИС).

Но действительно ли они являются безусловными лидерами среди всех ИС? Если лидерство СДИС с позиций перспективности, моды и престижности трудно подвергнуть сомнению, то по многим другим показателям их лидерство не очевидно, а иногда и сомнительно.

Определим критерии целесообразности применения того или иного ИС в тех или иных условиях.

Прежде всего выясним, что может служить критерием рациональности с позиций энергосбережения и энергоэффективности, применительно к региональным аспектам [2,3]. Анализ, проведенный в указанных работах показывает, что решая вопрос об энергосберегающих мероприятиях, какими бы заманчивыми они ни были, мы не можем игнорировать вопрос их первоначальной стоимости. Энергосбережение заключается в сокращении расхода энергии как непосредственно в технологическом процессе (например, освещении), так и в сокращении расхода различных ресурсов (а в итоге – энергии) на его создание (например, стоимость ИС).

Аналогичные рассуждения доказывают, что также необходим учёт ресурса, заложенного в любом оборудовании (например, ИС). Чем меньше этот ресурс (продолжительность горения ИС), тем больше материальные (а следовательно, и энергетические) затраты на восстановление отказавшего оборудования.

Для нахождения критериев выбора ИС решаем следующую задачу [4].

Пусть требуется обеспечить необходимый уровень освещенности на определённой площади в течение определённого времени. Для этого могут быть использованы различные ИС с различными светильниками. Допуская, что высота подвеса выбрана рационально и для любых светильников в одном и том же помещении одинакова, считаем, что для этого помещения требуется определённый (расчётный) световой поток –  $\Phi_p$  (лм).

Требуемый расчётный расход световой энергии  $Q_p$  (лм·ч) за расчётное время  $T$  (ч) использования осветительной установки (ОУ)

$$Q_p = \Phi_p T.$$

Предполагая, что КПД используемых светильников и дополнительные потери мощности в пускорегулирующих аппаратах примерно одинаковы, определим требуемую расчётную электрическую мощность (Вт) ОУ:

$$P_p = \Phi_p / N_{ис},$$

где  $N_{ис}$  – световая отдача используемого источника света, лм/Вт.

Расчётный расход электрической энергии (кВт·ч) за расчётное время

$$W_p = P_p T = \frac{\Phi_p T}{N_{ис}} = \frac{Q_p}{N_{ис}}.$$

Расчётные единовременные капиталовложения (руб.) на создание ОУ (без учёта стоимости светильников, электрических сетей и монтажных работ)

$$K_p = N_{ис} C_{ис} k_{см},$$

где  $N_{ис}$  – требуемое количество используемых ИС;

$C_{ИС}$  – стоимость одного ИС, руб.;  
 $k_{СМ}$  – коэффициент сменяемости ИС.  
 В свою очередь

$$N_{ИС} = \frac{\Phi_P}{\Phi_{ИС}} = \frac{\Phi_P}{P_{ИС} H_{ИС}};$$

$$k_{СМ} = \frac{T}{\tau_{ИС}},$$

где  $\Phi_{ИС}$ ,  $P_{ИС}$  – соответственно световой поток и мощность одного используемого ИС;  
 $\tau_{ИС}$  – продолжительность горения (ресурс) ИС, ч.

Тогда

$$K_P = \frac{\Phi_P C_{ИС} T}{P_{ИС} H_{ИС} \tau_{ИС}}$$

Расчётные затраты  $Z_P$  (руб.) на ОУ за расчётный период использования считаем состоящими укрупнено из затрат на ИС и стоимости расходуемой электроэнергии  $C_{Э}$  (руб.)

$$Z_P = K_P + C_{Э} = \frac{\Phi_P C_{ИС} T}{P_{ИС} H_{ИС} \tau_{ИС}} + \frac{\Phi_P T C_{ОЭ}}{H_{ИС}} = \frac{\Phi_P T}{H_{ИС}} \left( \frac{C_{ИС}}{P_{ИС} \tau_{ИС}} + C_{ОЭ} \right) = \frac{\Phi_P T}{H_{ИС}} (C_{ОИС} + C_{ОЭ}),$$

где  $C_{ОЭ}$  – стоимость 1 кВт·ч электрической энергии в регионе расположения ОУ, руб./кВт·ч;

$C_{ОИС}$  – стоимость капиталовложений на 1 кВт·ч потребляемой ИС электрической энергии за время его использования, руб./кВт·ч.

Так как при анализе вариантов выбора ИС предполагается, что длительность их использования и требуемый световой поток во всех случаях одинаковы, целесообразно сравнение вариантов проводить по удельным затратам  $z_0$  (руб./лм·ч) на один лм·ч вырабатываемой световой энергии за время использования:

$$z_0 = \frac{Z_P}{Q_P} = \frac{1}{H_{ИС}} \left( \frac{C_{ИС}}{P_{ИС} \tau_{ИС}} + C_{ОЭ} \right) = \frac{1}{H_{ИС}} (C_{ОИС} + C_{ОЭ}).$$

Таким образом, целесообразность использования различных ИС определяется стоимостью электроэнергии в регионе, световой отдачей, стоимостью, мощностью и средней продолжительностью горения ИС.

Полученное выражение является упрощенным, так как не учитывает ряд факторов, в большей или меньшей степени влияющих на стоимость использования ОУ. К таковым относятся:

- КПД и тип кривой силы света устанавливаемых светильников, их стоимость, стоимость монтажных работ;
- размеры, отражающие свойства, коэффициент использования помещения;
- затраты на осветительные сети;
- единовременность капитальных вложений и упущенную выгоду от их возможного использования в других целях;
- изменение тарифов на электроэнергию и стоимости ИС по мере использования ОУ;
- моральное старение принятых к применению ИС при их длительной эксплуатации вследствие создания новых более эффективных ИС;
- возможное недоиспользование ИС при малом сроке применения ОУ;
- иные факторы.

По этой причине численные значения получаемых удельных затрат нельзя считать абсолютно точными. Однако для сравнения вариантов выбора типа ИС они могут дать достаточно объективную картину, так как учитывают стоимость, мощность, световую отдачу и продолжительность горения ИС, а также тариф на электрическую энергию в регионе расположения ОУ.

Так, сравнение различных вариантов применения ИС (рис. 1) показывает, что применение 1-го ИС целесообразно во всех регионах ( $z_0$  меньше, чем у других ИС), 4-го – нецелесообразно нигде ( $z_0$  больше, чем у других ИС), а 2-й имеет преимущество перед 3-м при относительно больших тарифах на электроэнергию (граничное значение тарифа определяется точкой пересечения графиков 2 и 3).

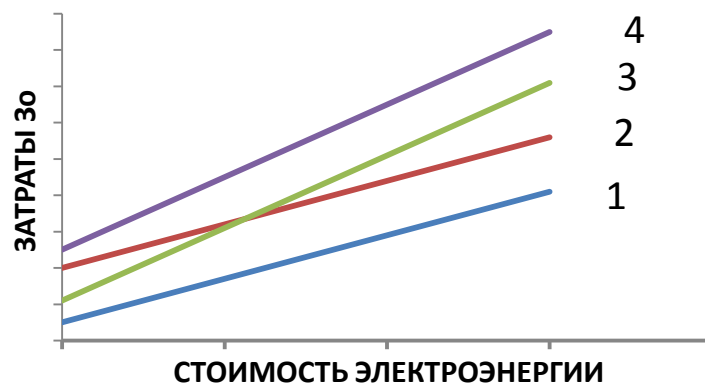


Рис. 1 – Сравнение вариантов выбора ИС при разных тарифах на электроэнергию в регионе размещения

В качестве примеров рассмотрено сравнение вариантов использования для освещения помещений люминесцентных ламп серии Т5 и трубчатых светодиодных ламп (рис. 2 и 3).



Сравнение ламп T5 (Philips Master TL5 HE -35 Вт-105лм/Вт- 24 тыс. ч-164 руб.) и трубчатой LED (Osram HB4-18,5 Вт-91 лм/Вт-40000 ч-557 руб), представленное на рис. 2, показывает, что лампа T5 имеет преимущество при применении в любом регионе. Более того, она выиграла бы по экономическим показателям даже в том случае, если бы светодиодная лампа была бесплатной.

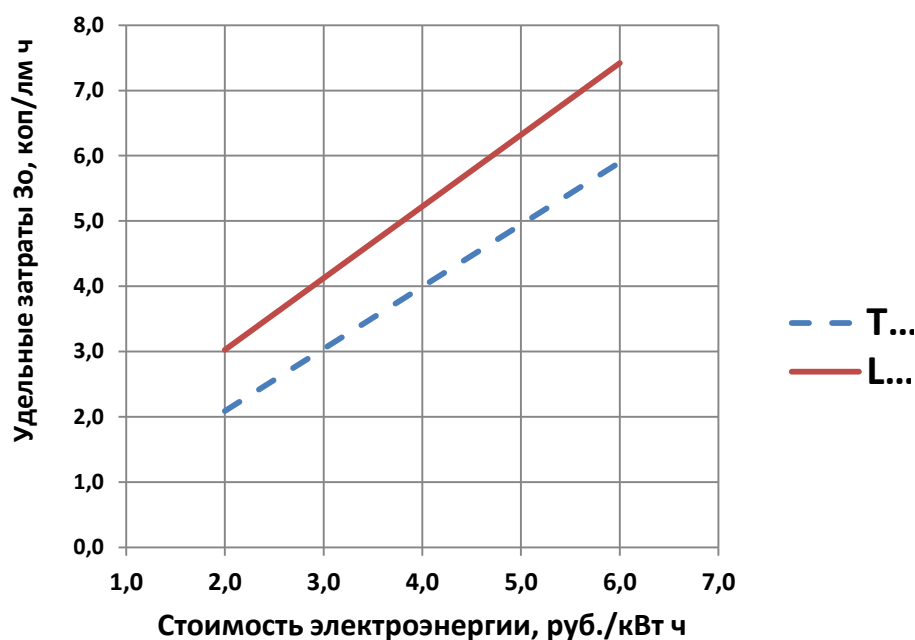


Рис. 2 – Экономическое сравнение целесообразности применения лампы T5 (Philips Master TL5 HE) и LED трубчатая (Osram HB4)

Сравнение ламп T5 (Philips Master TL5 HE -35 Вт-105лм/Вт- 24 тыс. ч-164 руб.) и трубчатой LED (Philips Master LED Tube High Output-23 Вт-134 лм/Вт-40000 ч-1250 руб.(?)), представленное на рис. 3, показывает, что лампа T5 имеет преимущество при применении в регионах, где стоимость электрической энергии не превосходит 4 руб./кВт·ч. При более дорогой электрической энергии преимущество получает светодиодная лампа. В рассмотренном примере цена LED лампы принята условно, так эта лампа в России ещё не продаётся. Используя предложенный алгоритм несложно определить при какой стоимости она превзойдёт лампу T5 в любом регионе.

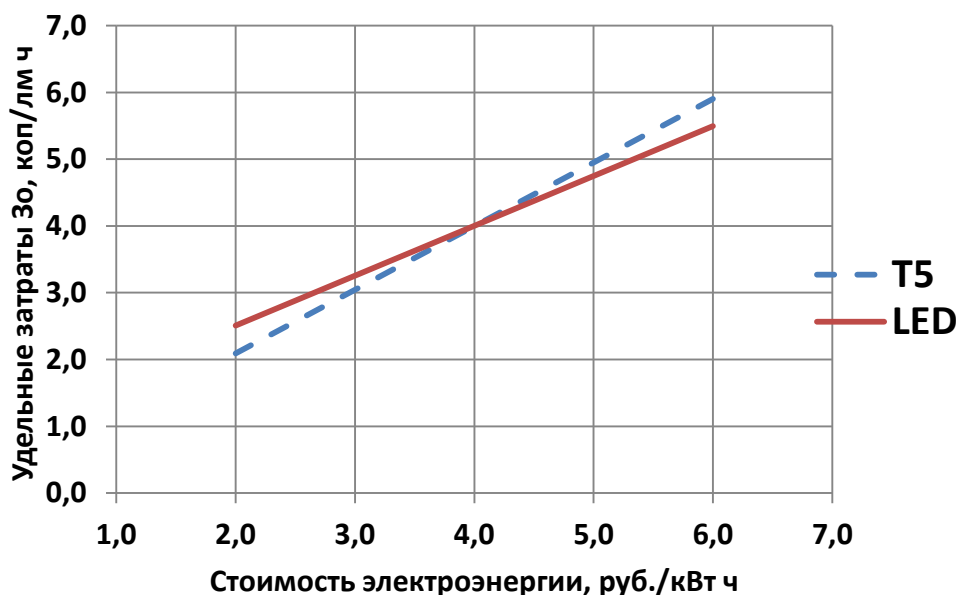


Рис. 3 – Экономическое сравнение целесообразности применения лампы T5 (Philips Master TL5 HE) и трубчатой LED (Philips Master LED Tube High Output)

#### ВЫВОДЫ:

1. Приведенный в статье алгоритм сравнения вариантов позволяет проводить достаточно объективный выбор среди предлагаемых для использования ИС, учитывающий как их технико-экономические характеристики, так и экономические условия региона.
2. Использование предлагаемого критерия позволяет оптимизировать потребление энергетических ресурсов не только при использовании осветительных приборов, но и в комплексе, учитывая энергозатраты на создание самой системы освещения.

## Литература

1. Ковалев В.З., Мальгин Г.В., Архипова О.В., Математическое моделирование электротехнических комплексов нефтегазодобычи в задачах энергосбережения: монография. Департамент образования и науки ханты-мансийского авт. окр. - Югры, Югорский государственный университет. Ханты-Мансийск. 2008. С. 222.
2. Архипова О.В. Принципы оптимизации электроснабжения населенных пунктов крайнего севера на базе ветродизельных комплексов. Вестник Югорского государственного университета. 2015. № S2 (37). С. 204-206.
3. Ковалев В.З., Архипова О.В., Ковалева С.Е. Энергетические аспекты регионально обособленного электротехнического комплекса // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 11 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/11/60093> (дата обращения: 12.05.2016).
4. Вязигин, В.Л. Основы электрического освещения. Учебное пособие./ В.Л. Вязигин. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – 196 с.

## References

1. Kovalev V.Z., Mal'gin G.V., Arhipova O.V., Matematicheskoe modelirovanie jelekktrotehnicheskikh kompleksov neftegazodobychi v zadachah jenergosberezenija: monografija. Departament obrazovaniya i nauki hanty-mansijskogo avt. okr. - Jugry, Jugorskij gosudarstvennyj universitet. Hanty-Mansijsk. 2008. C. 222.
2. Arhipova O.V. Principy optimizacii jelekktrosnabzhenija naselennykh punktov krajnego severa na baze vetrodizel'nyh kompleksov. Vestnik Jugorskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. № S2 (37). S. 204-206.
3. Kovalev V.Z., Arhipova O.V., Kovaleva S.E. Jenergeticheskie aspekty regional'no obosoblennogo jelekktrotehnicheskogo kompleksa // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii. 2015. № 11 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/11/60093> (data obrashheniya: 12.05.2016).
4. Vjazigin, V.L. Osnovy jelektricheskogo osveshheniya. Uchebnoe posobie./ V.L. Vjazigin. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2013. – 196 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.181

Дайчман Р.А.

ORCID 0000-0001-8134-3483, Ассистент,

Омский государственный технический университет

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ОБОРУДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ (ГИБРИДНЫХ) СИСТЕМ  
АВТОНОМНОГО АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

## Аннотация

Комбинирование различных типов возобновляемых источников энергии весьма эффективно, но такие системы технически сложны имеют много различных элементов, выбор которых для неспециалиста весьма проблематичен, на упрощения этого выбор и нацелена следующая статья. Указаны критерии оценки эффективности таких систем. Приведены сравнительные характеристики ветрогенераторов, солнечных батарей, аккумуляторных батарей, инверторов, контроллеров, положительные и отрицательные стороны каждого из возможных вариантов. Даны рекомендации по использованию ветро-солнечной системы.

**Ключевые слова:** автономность, энергия, ветрогенератор, солнечная батарея, инвертор, контроллер, аккумуляторная батарея, мощность, электроснабжение, комбинированные (гибридные) системы.

Daychman R. A.

ORCID 0000-0001-8134-3483, Assistant of ESPP Department

Omsk State Technical University

RECOMMENDATIONS FOR THE SELECTION OF EQUIPMENT COMBINED (HYBRID) AUTONOMOUS  
SYSTEMS ALTERNATIVE POWER

## Abstract

Combining different types of renewable energy is very effective, but such systems are technically complex many different elements, the choice of which to the layman is very problematic to facilitate this choice and aims next article. Criteria for evaluating the effectiveness of such systems. Comparative characteristics of wind turbines, solar panels, batteries, inverters, controllers, pros and cons of each option. Recommendations for the use of wind and solar systems.

**Keywords:** endurance, energy, wind turbine, solar panel, inverter, controller, battery, power, electricity, combined (hybrid) system.

С каждым днем человечество все более и более задумывается об использовании возобновляемых источников энергии, это связано с нестабильной политической обстановкой в странах экспортерах углеводородов, желанием обрести энерго-независимость, растущих нуждах электроэнергии, истощение природных ресурсов, закрытием АЭС, а также заботой об экологии.

Для обычных жителей все сводится к простому желанию экономии денежных средств. Использование одного вида возобновляемого ресурса экономически невыгодно, поэтому зачастую применяется комбинирование различных типов, то такие системы технически сложны, имеют много элементов, выбор которых для неспециалиста весьма проблематичен, на упрощения этого выбора и нацелена следующая статья.

Основным элементом таких систем является ветрогенератор, таблица 1.

Таблица 1 – Соотнесение различных типов ветроэнергетических установок

Тип	Преимущества	Недостатки
Горизонтально-осевая	КПД около 45-50%; Небольшое число лопастей; Не сложный процесс установки; Недорогие генераторы.	Высокая цена общей системы; Нужна ориентировка по ветру; Сложность поворота лопастей.
Вертикально-осевая	Отсутствие ориентации на ветер; Проста в эксплуатации.	Слабая надежность; Громоздкая лопастная конструкция; Нет регулировки угла атаки лопастей.
Ротор Савониуса	Само-запуск при слабых скоростях ветра.	Большая материалоемкость; Низкий КПД – 15%.
Ротор Дарье	КПД 35-40%; Легкое обслуживание.	Отсутствие самозапуска.
Ротор Горлова	Значительный срок службы; Большой КПД до 60%.	Сложности в изготовлении лопастей; Большая цена.
Многолопастная с направляющим аппаратом	КПД до 50%; Восприимчивость к незначительным скоростям ветра.	Высокая стоимость; Большая металлоемкость.

Наиболее лучшими в соотношении преимуществ и недостатков являются вертикально осевые установки. [1-6]

Другим важнейшим элементом комбинированной системы является солнечная батарея, в таблице 3 приведены основные характеристики панелей [7]:

Таблица 2 – Типы солнечных панелей

Тип солнечной панели	Преимущества:	Недостатки:
Монокристаллические	Высокий КПД; Компактны; Большой срок службы.	Значительная цена; При затенении части панели, вся панель теряет мощность; Необходимость применения микроинверторов.
Поликристаллические	Недороги; Зависимость от температуры.	Средний процент КПД; Необходимость больших площадей.
Тонкопленочные	Низкая себестоимость; Гибкость; Малые потери на нагрев.	Большие площади для установки; Низкий КПД; Малый срок службы.

Монокристаллические элементы, выполняться в виде восьмиугольных кремниевых пластин с характерным цветом, имеют наивысшую эффективность — до 22%.

Поликристаллические солнечные панели обладают квадратной формой и голубоватым оттенком. Более малая эффективность до 18% связана с тем, что при производстве используют не только первичный кремний большой степени очистки, но и вторичное сырье.

Нанесение нескольких слоев фотоэлектрического материала позволяет создать тонкопленочные элементы. Однако, несмотря на светопоглощаемость аморфного кремния, которая примерно в 20 раз выше, чем у обычного, эффективность солнечных батарей такого типа не превышает 12 %.

При выборе между монокристаллической и поликристаллической панелями одинаковой мощности, при достаточной свободной площади, рекомендуется выбирать те что дешевле, а это как правило поликристаллические панели. Если же условия размещения солнечной электростанции ограничены малой площадью, то рекомендуется применять с более высоким КПД, это монокристаллические модули. Использование дешёвых тонкопленочных модулей, влечет за собой покупку кабеля, более дорого инвертора и затрат на опорную и ограждающую конструкцию.

Максимально добиться эффективности автономной системы, используя лишь один вид возобновляемой энергии, невозможно ввиду непостоянства природных явлений. Состояние равновесия между выработанной и потребленной энергией практически недостижимо. В системах автономного электроснабжения из-за непостоянства генерации возникает необходимость использовать дорогостоящие аккумуляторные батареи (АКБ).

Преимущество в сочетании: цена – качество остаётся бесспорно за свинцово-кислотными аккумуляторами, которые в свою очередь подразделяются на:

Автомобильные – наиболее маломощные, несложны в изготовлении и сервисе, выносят около 100 - 150 циклов подзарядок на 80%;

AGM – это герметизированные аккумуляторы, предусмотренные на 250 – 400 циклов разрядов на 80%, весьма чувствительны к перезарядам;

Гелиевые – кислотные герметизированные, терпят примерно 350 – 500 циклов разрядов на 80%, прихотливы к емкостям зарядных токов;

Панцирные – выдерживают порядка 1000 - 1500 циклов разрядов по 80%, в максимальной степени подходят для использования в автономных системах.

Для динамического контроля параметров АКБ применяется контроллер заряда, таблица 4.

Таблица 3 – Преимущества и недостатки различных типов контроллеров

Контроллер	Преимущества	Недостатки
ON/OFF	Дешев; Неприхотлив; Можно использовать в комбинированных системах; Минимальный нагрев при регулировании; Отключение источника при полном заряде.	Не в состоянии полностью зарядить батареи; Снижает срок эксплуатации АКБ; Большие скачки тока при регулировании приводят к высоким электромагнитным помехам.
PWM (ШИМ)	Низкий уровень электромагнитных помех; Исключается перегрев и закипание аккумулятора; Относительно высокий КПД.	Большой нагрев во время регулирования; Можно использовать только с одним видом генерации; Строго соответствии мощности контроллера потребляемой мощности; Ограничение по мощности.
MPPT	Разное напряжение на входе и выходе контроллера; Возможно подключение различных источников на вход; Гальваническая развязка входа и выхода.	Потери на преобразование; Более сложная технология; Более высокая цена.

При рассмотрении типов контроллеров выяснилось, что наиболее совершенной моделью является MPPT контроллер [8].

Инвертор — это основа автономного электроснабжения, от правильного выбора будет зависеть рентабельность, поэтому к этому стоит подойти особенно ответственно. В таблице 5, представлены свойства различных типов:

Таблица 4 – Характеристики различных типов инверторов

Тип инвертора	Преимущества	Недостатки
Автономные	Малый размер и вес; Небольшая цена; Быстрый заряд.	Значительная шумность выходных параметров; Небольшая надежность; Узкий диапазон мощностей; Возможно повреждение электротехники.
Сетевые	Без трансформаторная схема соединения; Хорошие массогабаритные показатели; Синусоидальность тока и напряжения.	Отсутствует полная автономность; Необходимость синхронизации с сетью; Высокая стоимость;
Гибридный	Большая цена; Возможность трехфазного питания.	Синусоидальность тока и напряжения; Параллельная работа на аккумуляторе и потребление.

Желательно, чтобы мощность инвертора была соизмерима с максимальной мощностью нагрузки с учетом пусковых токов [9].

В заключении можно сказать, что для условий России, в случае необходимости автономного надежного электроснабжения, рекомендуется использовать комбинированные системы, так как скорость ветра летом сравнительно небольшая, но достаточно много солнца и продолжительный световой день, в тоже время зимой, наоборот, много сильных ветров и меньше солнечного света [10,11]. Поскольку пик работ по производству электроэнергии у ветровой и солнечной систем приходится на различное время суток и года, то гибридная система, соответственно, производит энергии больше и тогда, когда это действительно необходимо. [12]

#### Литература

1. Дайчман, Р. А. Возможности современной ветроэнергетики / Р. А. Дайчман // Актуальные вопросы современной науки. – 2015. – № 4(8). – С. 11-14.
2. Дайчман, Р. А. Использование ветроэнергетических установок в Российской Федерации / Р. А. Дайчман // Апробация. – 2015. – № 11(38). – С. 13-15.
3. Дайчман, Р. А. Климатологические характеристики ветровой энергии / Р. А. Дайчман // Научный обозреватель. – 2015. – № 11(59). – С. 43-45.
4. Дайчман, Р. А. Современная ветроэнергетика в Российской Федерации / Р. А. Дайчман // Научная перспектива. – 2015. – № 11(69). – С. 98-99.
5. Дайчман, Р. А. Эффективность выбора современных ветрогенераторов / Р. А. Дайчман // Апробация. – 2015. – № 12(39). – С. 24-27.
6. Дайчман, Р. А. Выбор ветроустановок для систем автономного электроснабжения / Р. А. Дайчман // Молодой ученый. – 2015. – № 24. – С. 117-121.
7. Дайчман, Р. А. Анализ солнечных батарей современных производителей / Р. А. Дайчман // Современная наука и практика. – 2015. – № 4(4). – С. 5-11.

8. Дайчман, Р. А. Рекомендации по выбору контроллеров заряда аккумуляторных батарей для систем альтернативного электроснабжения / Р. А. Дайчман // Журнал научных и прикладных исследований. – 2015. – № 12. – С. 139-141.
9. Дайчман, Р. А. Рекомендации по выбору инвертора для систем автономного электроснабжения / Р. А. Дайчман // Приволжский научный вестник. – 2016. – № 1(53). – С. 38-41.
10. Дайчман, Р. А. Климатологические характеристики ветровой энергии / Р. А. Дайчман // Научный обозреватель. – 2015. – № 11(59). – С. 43-45.
11. Дайчман, Р. А. Факторы, влияющие на выработку электроэнергии ветроустановки / Р. А. Дайчман // Приволжский научный вестник. – 2016. – № 1(53). – С. 41-44.
12. Гужулев, Э. П. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: монография / Э. П. Гужулев, В. Н. Горюнов, А. П. Лаптий. - Омск : Омский государственный технический университет, - 2004. - 272 с.

#### References

1. Dajchman, R.A. Vozmozhnosti sovremennoj vetroj energetiki / R.A. Dajchman // Aktual'nyevoprosysovmennoj nauki. – 2015. – № 4(8). – S. 11-14.
2. Dajchman, R.A. Ispol'zovanie vetrojenergeticheskikh ustanovok v RossijskojFederacii / R.A. Dajchman // Aprobacija. – 2015. – № 11(38). – S. 13-15.
3. Dajchman, R.A. Klimatologicheskie harakteristiki vetrovoj energii / R.A. Dajchman // Nauchnyjobozrevatel'. – 2015. – № 11(59). – S. 43-45.
4. Dajchman, R.A. Sovremennaja vetrojenergetika v RossijskojFederacii / R.A. Dajchman // Nauchnajaperspektiva. – 2015. – № 11(69). – S. 98-99.
5. Dajchman, R.A. Jefferktivnost' vyboraso vremennyh vetrogeneratorov / R.A. Dajchman // Aprobacija. – 2015. – № 12(39). – S. 24-27.
6. Dajchman, R. A. Vybor vetroustanovok dlja system avtonomnogo jelektrosnabzhenija / R. A. Dajchman // Molodojuchenyj. – 2015. – №24. – S. 117-121.
7. Dajchman, R.A. Analiz solnechnyh batorej sovremennyh proizvoditelej / R. A. Dajchman // Sovremennajanaukaipraktika. – 2015. – № 4(4). – S. 5-11.
8. Dajchman, R.A. Rekomendacii po vyboru kontrollerov zarjada akkumuljatornyh batorej dlja system al'ternativnogo jelektrosnabzhenija / R.A. Dajchman // Zhurnalnauchnyhiprikladnyhissledovanij. – 2015. – № 12. – S. 139-141.
9. Dajchman, R.A.Rekomendacii povyboruinvertoradljasistemavtonomnogojelektrosnabzhenija / R.A. Dajchman // Privolzhsijnauchnyjvestnik. – 2016. – № 1(53). – S. 38-41.
10. Dajchman, R.A. Klimatologicheskie harakteristiki vetrovoj energii / R.A. Dajchman // Nauchnyjobozrevatel'. – 2015. – № 11(59). – S. 43-45.
11. Dajchman, R.A. Faktory, vlijajushhie na vyrabotku jelektroj energii vetroustanovki / R.A. Dajchman // Privolzhsijnauchnyjvestnik. – 2016. – № 1(53). – S. 41-44.
12. Guzhulev, Je. P. Netradicionnye vozobnovljaemye istochnikij energii: monografija / Je. P. Guzhulev, V. N. Gorjunov, A. P. Laptij. - Omsk :Omskijgosudarstvennyjtehnicheskijuniversitet, - 2004. - 272 s.



*Все статьи, опубликованные в «Международном научно-исследовательском журнале», загружаются в РИНЦ.*

**Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)** — библиографическая база данных научных публикаций российских учёных. Для получения необходимых пользователю данных о публикациях и цитируемости статей на основе базы данных РИНЦ разработан аналитический инструментарий ScienceIndex.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.102

Дементьев А.С.<sup>1</sup>, Проскуряков Р.М.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-7777-0087, аспирант;<sup>2</sup>доктор технических наук, профессор,

Санкт-Петербургский горный университет

**ПРИЁМНЫЙ ПОЛУКОМПЛЕКС СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕФТЕПРОВОДОВ  
НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ****Аннотация**

В данной статье кратко описан принцип действия диагностической системы технического состояния трубопровода на основе импульсного магнитного поля. Рассмотрена структура приёмного полукомплекса данной системы диагностики. Приведена функциональная схема применяемого полукомплекса. Рассмотрен принцип действия преобразователя частотно-импульсных сигналов в напряжение постоянного тока и приведена схема демодулятора частотно-импульсных сигналов с усреднением во времени, а также временная диаграмма его работы.

**Ключевые слова:** нефтепровод, система диагностики, ЧИМ-преобразователь.

Dementev A.S.<sup>1</sup>, Proskuryakov R.M.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-7777-0087, Postgraduate student,<sup>2</sup>PhD in Engineering, Professor,

Saint-Petersburg Mining University

**RECEIVING SEMICOMPLEX SYSTEM OF TECHNICAL PIPELINES DIAGNOSTICS BASED ON PULSED  
MAGNETIC FIELD****Abstract**

This article briefly describes the principle of action of the technical condition of the pipeline diagnostic system based on pulsed magnetic field. The structure of the receiving semicomplex of the diagnostic system is considered. The functional diagram of the semicomplex is given. The principle of action of the inverter frequency pulse signals to a DC voltage is considered and diagram of the demodulator of frequency-averaged pulse signals in time, and its operation timing chart is given.

**Keywords:** pipeline, diagnostic system, PFM converter.

Согласно последним исследованиям взаимодействий стохастического и диссипативного полей применительно к большой ферромагнитной системе (система нефтепроводов) – любая деформированная система при воздействии на неё возбужденным стохастическим полем выделяет энергетические поля, образованные вихревыми проявлениями энергии отдельных электронов, которые переходят на более низкий энергетический уровень. Это особенно ярко проявляется в том случае, если добавить к стохастическому воздействию ещё какое-то более мощное импульсное энергетическое воздействие, например, как это известно в технологии физико-химического получения наноматериалов [1], при наложении импульсного магнитного поля с частотой 50 Гц, магнитудой 0,4 Тл и модулировании частотой  $500 \div 600 \cdot 10^6$  Гц в междолинном пространстве наноматериала образуются продольные волны, благодаря которым вещество становится гидрофобным.

В технике горного дела (а именно в трубопроводном транспорте) такие вторичные явления заметны в следующем проявлении: если трубопровод намагнитить с помощью антенны определенной конструкции постоянным магнитным полем 0,4 Тл и наложить прямоугольные, стробированные частотой  $500 \cdot 10^6$  Гц импульсы, то в местах нарушения структуры нефтепровода (то есть сварки, врезки и прочих механических деформаций) и в местах нарушения кристаллической структуры металла (например в местах с оставшимся напряженным состоянием при изготовлении труб) наблюдается четкие проявления энергетических уровней разной магнитуды. Из статистической динамики (теория Вайнштейна) известно, что динамические колебания случайной величины достаточно полно можно охарактеризовать тремя уровнями  $\sum nT$ , где  $n$  – число энергетических проявлений одного уровня,  $T$  – период, в течение которого зафиксированы эти проявления.

В диагностической системе нефтепровода модулируется импульсное магнитное поле, вершины которого стараемся сделать максимально прямоугольными (рис.1). Модуляция магнитного поля позволяет поймать его на втором конце трубопровода чувствительными методами на основе индукции. Пройдя через испорченный трубопровод, магнитное поле в местах повреждений испытывает отражение, преломление, интерференцию, создаёт экстратоки. Всё это искажает прямоугольную форму модуляции импульсного магнитного поля. На приёмном пункте сравнивают два тока прямоугольной формы: один синхронный и синфазный с током намагничивания в начале трубы и второй – «испорченный» неисправной трубой. Синфазность и синхронность тока в месте регистрации и тока намагничивания трубы обеспечиваются подключением обмоток к одной фазе питающей сети 50 Гц [2].

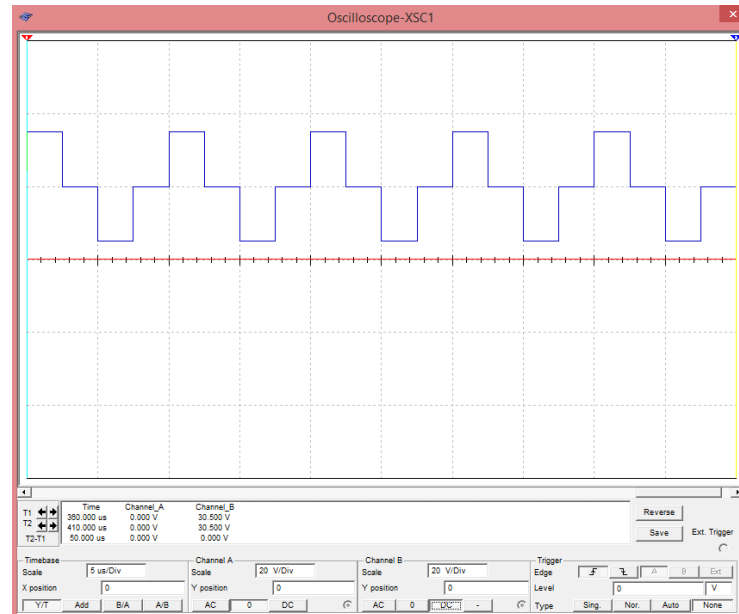


Рис. 1 – Импульсное магнитное поле

В данной диагностической системе приняты три уровня: износ труб 30%, 60% и 90%. Чему равен  $n_{30}, n_{60}, n_{90}$  на данный момент неизвестно – нужен стаж наработки системы, и на его основе должно быть проведено функциональное градуирование.

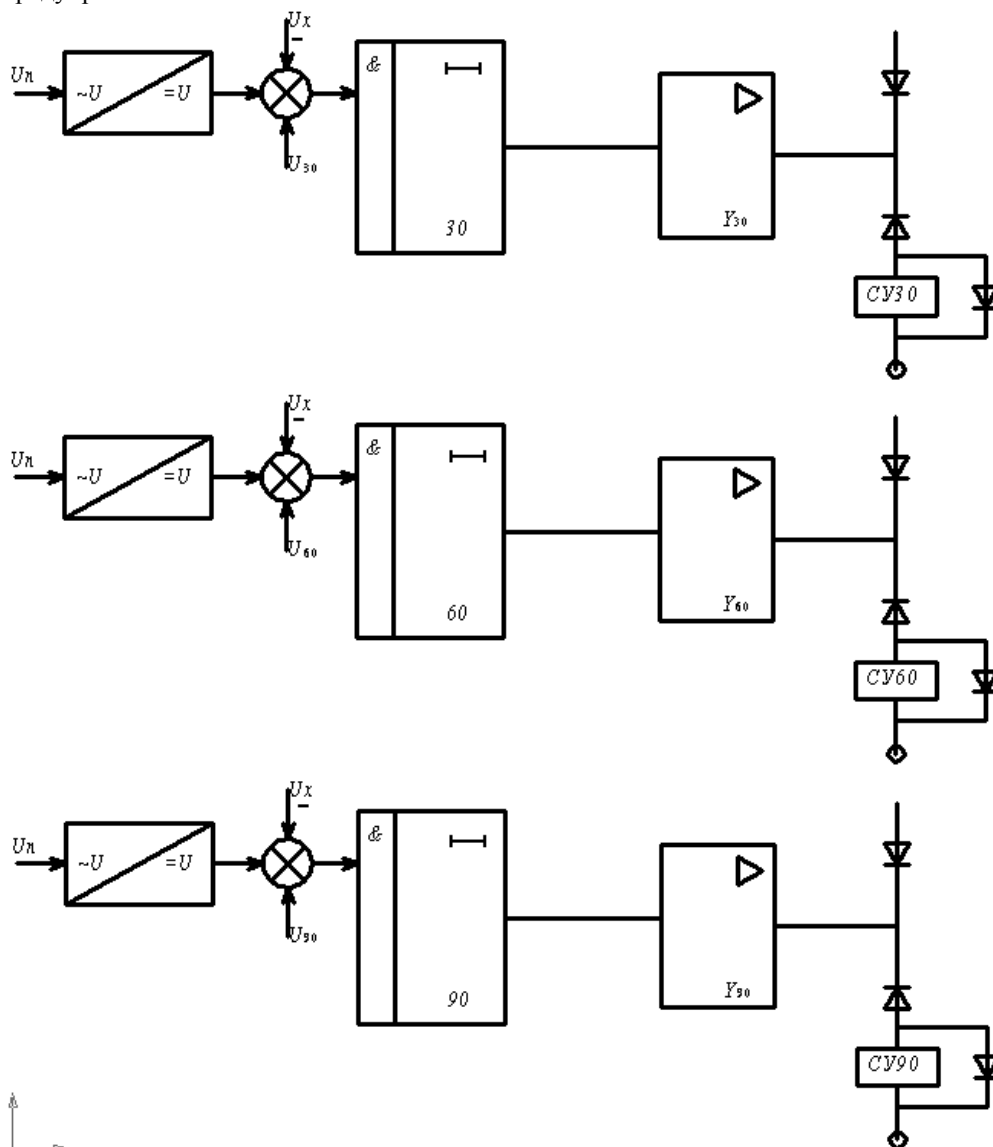


Рис. 2 – Функциональная схема приёмного полукомплеса диагностической системы нефтепровода



Поясним принцип действия приёмного полукомплекса диагностической системы нефтепровода по функциональной схеме (рис 2). Энергетические уровни, сгенерированные деформированными участками трубопровода, регистрируются датчиками на приёмном пункте диагностической системы в виде импульсов напряжения (рис.2) в форме частотно-импульсного сигнала, где частота и скважность импульсов зависят от степени деформированности поверхности трубы. Чем больше деформация, тем больше амплитуда и ширина импульса. В зависимости от числа деформаций генерируется разное число импульсов. Сказанное поясняется рисунком 4. Амплитуда всех импульсов нормируется ограничителем.

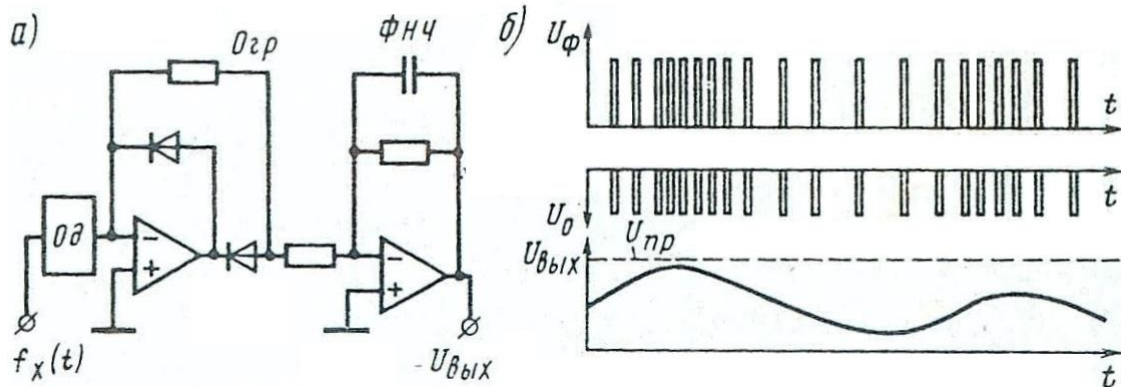


Рис. 3 – Схема демодулятора ЧИМ-сигналов с усреднением во времени (а) и временная диаграмма его работы (б)

Поскольку этап преобразования ( $H \rightarrow U_{имп} \rightarrow U_{=}$ ) является одним из важнейших участков работы диагностической системы, поясним это подробнее, используя решения электро-радиотехники.

Преобразователи частотно-импульсных сигналов в напряжение постоянного тока являются по существу демодуляторами частотно-модулированных сигналов и выполняют преобразования, обратные преобразованию напряжения в частоту. В общем случае функция преобразования

$$U = aft,$$

Где  $a$  - коэффициент, определяемый параметрами схемы преобразователя.

Наиболее широко распространены способы демодуляции частотно-модулированных сигналов усреднением во времени и путем измерения периода.

Принцип действия демодулятора, построенного по этому способу, заключается в формировании прямоугольных импульсов постоянной амплитуды и длительности, следующих с частотой входного сигнала, и в последующем усреднении выходного напряжения за достаточно большой период времени. В качестве усредняющего устройства используется RC фильтр нижних частот, выходной сигнал которого пропорционален длительности импульса  $t$  и обратно пропорционален временному интервалу между импульсами  $T$ . Достаточная линейность преобразования обеспечивается при выполнении условия  $RC > T$ . При  $t < T$  постоянная составляющая на выходе фильтра нижних частот пропорциональна частоте модуляции много меньше несущей.

Основным элементом преобразователя является формирователь, преобразующий входной сигнал в последовательность однородных импульсов (рис.2). Таким формирователем может быть мультивибратор. Для выравнивания амплитуд преобразуемых импульсов на выходе мультивибратора включен ограничитель Огр.

В качестве фильтра нижних частот ФНЧ использован инвертирующий операционный усилитель, обратная связь в котором осуществляется через параллельно соединённые резистор и конденсатор. В отличие от простой RC-цепи свойства такого фильтра не зависят от нагрузки. Коэффициент передачи фильтра определяется как

$$A_0 = - \frac{R_2 / R_1}{1 + \omega R_2 C_1},$$

где  $\omega$  - угловая частота.

Изменяя соотношение сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , можно задавать значение коэффициента передачи схемы в зависимости от требуемого уровня выходного сигнала. Частота среза фильтра  $F_{cp}$ , определяемая из приведенных выше условий, и коэффициент передачи постоянного сигнала  $A_0$  определяют ёмкость конденсатора  $C$ , которая оказывается меньше, чем в простой RC-цепи.

Среднее значение напряжения на выходе преобразователя

$$U = at / T = atf.$$

Точность преобразования зависит в основном от параметров импульса мультивибратора. Длительность переднего и заднего фронтов импульсов должна быть много меньше  $1/f_{max}$ . Необходимо обеспечить высокую стабильность амплитуды импульсов и нулевого выходного напряжения в интервале между импульсами. [3]

Как видно из схемы (рис. 1) на вход преобразователей  $U_{np1}, U_{np2}, U_{np3}$  поступает импульсное напряжение, преобразуемое в напряжение постоянного поля (рис. 2) указанными преобразователями, и после сравнения  $U =$  заданными  $U_{30}, U_{60}, U_{90}$  через задержку  $t=T$ , где  $T$  – период контроля, который обычно составляет не менее 10 часов, и усилители  $Y_{30}, Y_{60}, Y_{90}$ . Схема включает выходные усилители и регистрирующие элементы (сигнальные реле, системы телемеханики, передатчики через сотовую сеть или спутники – диспетчеру.)

Поясним для написанного текста символы 30, 60, 90 – это процент износа трубопровода при различных деформациях. Это значит, что напряжение с датчиков  $U_x$  сравнивается с эталонными при износе 30%, 60% и 90% трубопровода и далее схема, если эти пороги превышены, производит соответствующие переключения. В зависимости от того, сколько раз включается счетчик, принимается решение о текущем или капитальном ремонте нефтепровода.

Сказанное в этом разделе легко реализуется, так как в разделе цифровой техники имеются отработанные схемотехнические сборки, из которых тривиально реализуется данная структура.

#### Литература

1. Жабрев, А.В. Физико-химические процессы синтеза наноразмерных объектов. – СПб.: Изд-во «ЭЛМОР», 2012. – 328 с.
2. Проскуряков Р.М., Деметьев А.С. Построение системы диагностики технического состояния нефтепровода на основе постоянного пульсирующего магнитного поля. Записки Горного института / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2016. Т.218. 208 с.
3. Интегральные микросхемы в устройствах автоматики и защиты тяговых сетей/ В.Я. Овласюк, В.А. Зимаков, В.И. Дубровин и др.; Под ред. В.Я. Овласюка. – М.: Транспорт, 1985. – 128с.

#### References

1. Zhabrev, A.V. Fiziko-himicheskie processy sinteza nanorazmernih ob'ektov. – SPb.: Izd-vo «JeLMOR», 2012. – 328 s.
2. Proskurjakov R.M., Dementev A.S. Postroenie sistemy diagnostiki tehniceskogo sostojaniya nefteprovoda na osnove postojannogo pul'sirujushhego magnitnogo polja. Zapiski Gornogo instituta / Sankt-Peterburgskij gornij universitet. SPb, 2016. T.218. 208s.
3. Integral'nye mikroshemy v ustrojstvah avtomatiki i zashhity tjagovyh setej/ V.Ja. Ovlasjuk, V.A. Zimakov, V.I. Dubrovin i dr.; Pod red. V.Ja. Ovlasjuka. – M.:Transport,1985.-128s

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.146

Дробышева И.В.<sup>1</sup>, Паровик Р.И.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Магистрант,

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-1576-1860, кандидат физико-математических наук, доцент,  
Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга,

<sup>3</sup>старший научный сотрудник,

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН  
**ЭРЕДИТАРНЫЙ ОСЦИЛЛЯТОР ДУФФИНГА С ЗАТУХАНИЕМ**

#### Аннотация

В работе предложена обобщенная математическая модель осциллятора Дуффинга с трением, которая учитывает эффект «памяти» или эредитарность в колебательной системе. Описание этого эффекта дается формальной заменой в модельном уравнении целочисленные производные на производные дробных порядков в смысле Римана-Лиувилля. Была построена явная конечно разностная схема для вычисления приближенного решения. Приведены примеры использования явной конечно-разностной схемы, в которых приведены осциллограммы и фазовые траектории, полученные при различных значениях управляющих параметров.

**Ключевые слова:** осциллятор Дуффинга, производная Римана-Лиувилля, конечно-разностная схема, фазовые траектории, осциллограммы.

Drobysheva I.V.<sup>1</sup>, Parovik R. I.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Undergraduate student,

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-1576-1860, PhD in Physics and Mathematics, Associate professor,  
Vitus Bering Kamchatka State University,

<sup>3</sup>Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS

**HEREDITARY DUFFING OSCILLATOR WITH DAMPING**

#### Abstract

The paper presents a generalized mathematical model of Duffing oscillator with friction that takes into account the effect of "memory" or hereditary in an oscillatory system. The description of this effect is given formal change in the model equation integral derivatives on derivatives of fractional order in the sense of Riemann-Liouville. explicit finite difference scheme for calculating the approximate solution has been built. Examples of using explicit finite-difference scheme, which shows oscillograms and phase trajectories obtained for different values of the control parameters.

**Keywords:** Duffing oscillator, Riemann-Liouville derivative, finite-difference scheme, phase trajectories, oscillograms.

**Введение.** Эредитарность процесса – это свойство процесса сохранять «память» о его состояниях в предыдущие моменты времени. Как правило, такие процессы происходят во фрактальных средах, обладающие масштабной инвариантностью и нелокальностью по времени и пространству.

Исследование эредитарных колебательных систем является одним из актуальных направлений исследований, что подтверждено различными приложениями [1-3]. Эредитарные колебательные системы рассматриваются в рамках теории эредитарной динамики [1].

Более подробно вопросы исследования эредитарных колебательных системы систем, по нашему мнению, изложены в книге И. Петраса [4].

В настоящей работе мы будем исследовать пример эредитарной колебательной системы – эредитарный осциллятор Дуффинга с затуханием и внешним периодическим воздействием. Далее построим численную явную конечно-разностную схему для счета приближенного решения соответствующей задачи Коши, а также на основе этого численного решения построим и исследуем осциллограммы и фазовые траектории эредитарного осциллятора Дуффинга.

Отметим, что в работе [5] была предложена модель осциллятора Дуффинга с производной Римана-Лиувилля в диссипативном члене (фрактальное трение). Фрактальное трение обладает свойствами вязкости за счет степенного ядра в интегральном операторе («тяжелые хвосты»), где показатель степени является степенью вязкости.

**Постановка задачи.** Рассмотрим следующее эредитарное уравнение Дуффинга с внешним гармоническим воздействием:

$$\frac{d^2}{dt^2} \int_0^t K_1(t-\tau)x(\tau)d\tau + \alpha \frac{d}{dt} \int_0^t K_2(t-\tau)x(\tau)d\tau - x(t) + x^3(t) = \sigma \cos(\omega t), \quad (1)$$

где  $\alpha$  - коэффициент вязкого трения,  $\sigma$  и  $\omega$  - амплитуда и частота внешней периодической силы,  $K_1(t-\tau)$  и  $K_2(t-\tau)$  - функции памяти. Выберем функции памяти в виде:

$$K_1(t-\tau) = \frac{(t-\tau)^{1-p}}{\Gamma(2-p)}, K_2(t-\tau) = \frac{(t-\tau)^{-q}}{\Gamma(1-q)}, 1 < p < 2, 0 < q < 1.$$

Тогда мы приходим к следующей задаче Коши. Найти решение  $x(t)$ , где  $t \in [0, T]$  следующей задачи Коши в локальной постановке [6]:

$$D_{0t}^p x(t) + \alpha D_{0t}^q x(\tau) - x(t) + x^3(t) = \sigma \cos(\omega t), \quad (2)$$

$$\lim_{t \rightarrow 0} t^{2-p} x(t) = x_0, \lim_{t \rightarrow 0} \frac{d}{dt} (t^{2-p} x(t)) = y_0,$$

$$\text{где } D_{0t}^p x(\tau) = \frac{1}{\Gamma(2-p)} \frac{d^2}{dt^2} \int_0^t \frac{x(\tau)d\tau}{(t-\tau)^{p-1}} \text{ и } D_{0t}^q x(\tau) = \frac{1}{\Gamma(1-q)} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{x(\tau)d\tau}{(t-\tau)^q} - \text{производные Римана-}$$

Лиувилля дробных порядков  $1 < p < 2, 0 < q < 1$ ,  $x_0$  и  $y_0$  - заданные константы, начальные условия.

Уравнение (2), в силу кубической нелинейности, не имеет точного решения, поэтому будем искать его приближенное решение с помощью теории конечно-разностных схем [7-10]. Для этого разобьем временной отрезок  $[0, T]$  на  $N$  равных частей с шагом  $h$ . Тогда решение дифференциальной задачи  $x(t)$  перейдет в приближенное сеточное решение  $x(t_k), t_k = kh, k = 1, \dots, N$ . Производные дробных порядков в уравнении (2) аппроксимируем разностным аналогом – производной Грюнвальда-Летникова [11]:

$$D_{0t}^p x(\tau) \approx \frac{1}{h^p} \sum_{j=0}^{k-1} m_j^{(p)} x_{k-j} = \frac{x_k}{h^p} + \sum_{j=1}^{k-1} m_j^{(p)} x_{k-j}, \quad (3)$$

$$D_{0t}^q x(\tau) \approx \frac{1}{h^q} \sum_{j=0}^{k-1} c_j^{(q)} x_{k-j} = \frac{x_k}{h^q} + \sum_{j=1}^{k-1} c_j^{(q)} x_{k-j},$$

$$c_0^{(q)} = m_0^{(p)} = 1, c_j^{(q)} = \left(1 - \frac{1+q}{j}\right) c_{j-1}^{(q)}, m_j^{(p)} = \left(1 - \frac{1+p}{j}\right) m_{j-1}^{(p)}.$$

Подставляя соотношения (3) и (4) в уравнение (2), приходим к следующему приближенному решению задачи Коши (2):

$$x_k = \frac{1}{B} (x_{k-1} - x_{k-1}^3) - C \sum_{j=1}^{k-1} m_j^{(p)} - K \sum_{j=1}^{k-1} c_j^{(q)} x_{k-j} + A \cos(\omega(k-1)h) \quad (4)$$

$$\text{где } B = h^{-p} + \alpha h^{-q}, C = \frac{h^{-p}}{B}, K = \frac{h^{-q}}{B}, A = \frac{\sigma}{B}.$$

Можно отметить, исходя из работы [11], что аппроксимация (4) дифференциально задачи (2) имеет первый порядок за счет аппроксимации начальных условий. Мы не будем проводить исследования явной схемы (4) на устойчивость или сходимость. Отметим, что явные схемы, как правило, условно устойчивы, т.е. существует ограничение на шаг  $h$ . Оценить шаг  $h$  можно с помощью метода двойного счета (правило Рунге) [7].

Также для выбранных управляющих параметров можно провести эксперимент по исследованию устойчивости по правой части или начальным данным. Если схема устойчива с первым порядком и обладает аппроксимацией первого порядка, то по теореме Лакса она сходится с таким же порядком. Рассмотрим некоторые результаты моделирования осциллятора Дуффинга с затуханием и внешним гармоническим осциллятором.

**Результаты моделирования.** Рассмотрим некоторые примеры.

**Пример 1.** Значения управляющих параметров имеют вид:  
 $N = 2000, \sigma = 10, \alpha = 0.15, p = 1.7, q = 0.8, \omega = 5, h = 0.05$ .

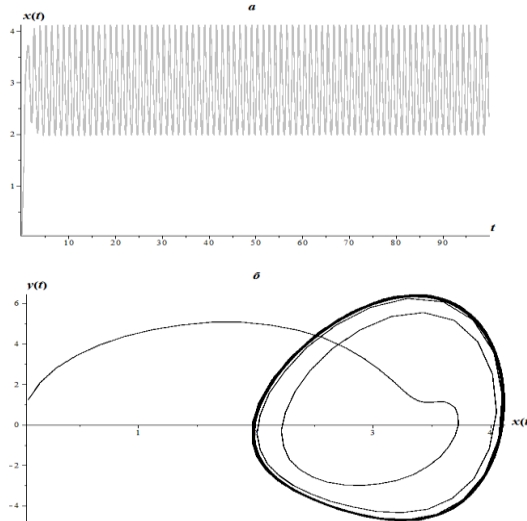


Рис. 1 – Расчетная кривая, полученная по формуле (4) а) и фазовая траектория б)

На рис.1а приведена осциллограмма - расчетная кривая численного решения, полученная по формуле (4) и фазовые траектории (рис.1б.). Видно, что амплитуда колебаний практически не меняется, что может свидетельствовать о наличии периодического решения или предельного цикла. Действительно, на рис. 1б. фазовая траектория выходит на предельный цикл.

**Пример 2.** Управляющие параметры имеют следующие значения:  
 $N = 2000, \sigma = 30, \alpha = 0.15, p = 1.7, q = 0.8, \omega = 5, h = 0.05$ .

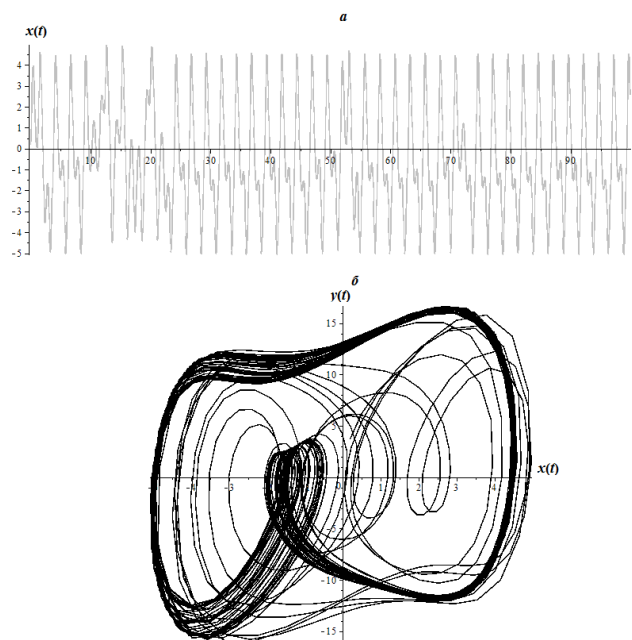


Рис. 2 – Расчетная кривая, полученная по формуле (4) а) и фазовая траектория б)

На рис.2а приведена осциллограмма и фазовая траектория рис.2б., когда в отличие от предыдущего примера амплитуда внешней силы в три раза больше. На осциллограмме (рис.2а) можно увидеть, что в начале колебания происходят в хаотическом режиме с раздвоенной амплитудой, затем выходят на квазирегулярный режим. На рис. 2б. фазовая траектория имеет петлю, соответствующую раздвоению амплитуды колебаний, и выходит на предельный цикл. Рассмотрим другой пример с уменьшением шага дискретизации.

**Пример 3.** Параметры:  $N = 2000, \sigma = 30, \alpha = 0.15, p = 1.7, q = 0.8, \omega = 5, h = 0.07$ .

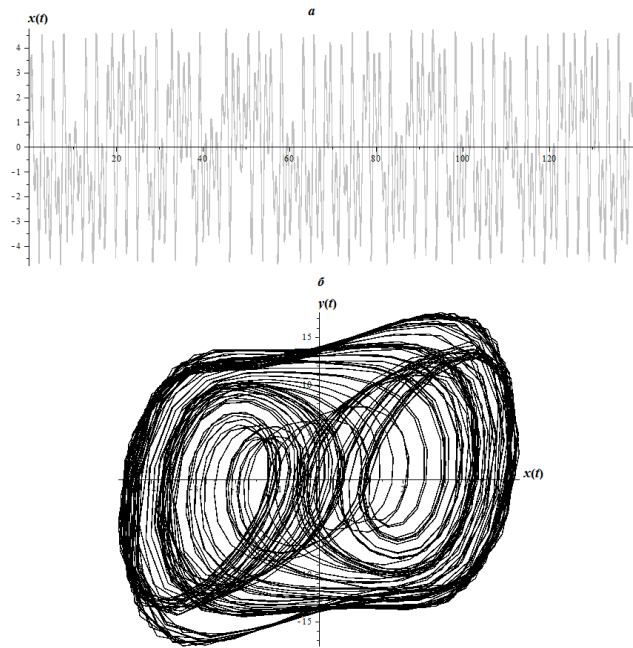


Рис. 3 – Расчетная кривая, полученная по формуле (4) а) и фазовая траектория б)

В этом случае мы видим, что колебания происходят в регулярном хаотическом режиме. Фазовые траектории типа (рис. 3б) были получены в работе [12] с учетом дробной производной в смысле Герасимова-Капуто. Рассмотрим случай, когда изменяются значения дробные параметры.

**Пример 4.** Параметры:  $N = 2000, \sigma = 30, \alpha = 0.15, p = 1.3, q = 0.8, \omega = 1, h = 0.07$ .

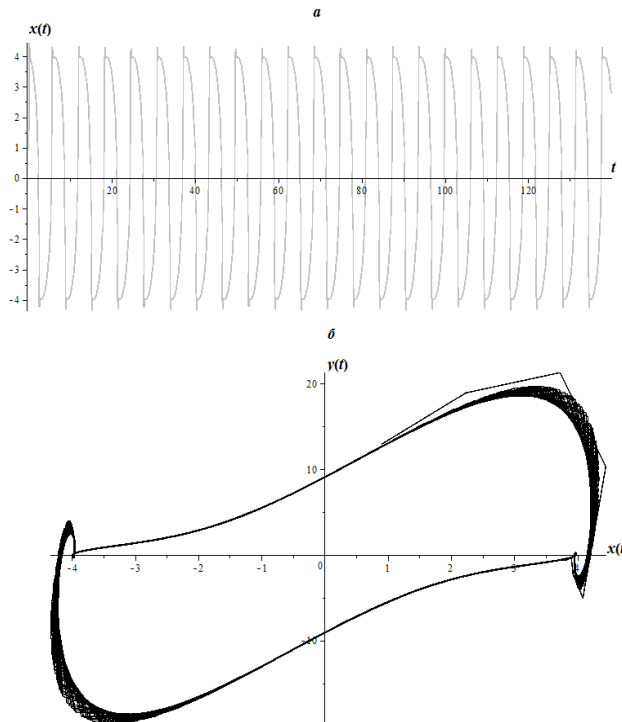


Рис. 4 – Расчетная кривая, полученная по формуле (4) а) и фазовая траектория б)

С уменьшением значений параметра  $p$  до 1.7 характер колебаний меняется. Можно заметить на рис. 4а, что колебания имеют раздвоенную амплитуду, о чем свидетельствуют две петли на фазовой траектории (рис. 4б), которая выходит на предельный цикл. Такой режим колебаний характерен для эрдитарного осциллятора Ван-дер-Поля [13]. Эти петли более ярко выражены в следующем примере.

**Пример 5.** Параметры:  $N = 3000, \sigma = 30, \alpha = 0.15, p = 1.6, q = 0.8, \omega = 1, h = 0.07$ .

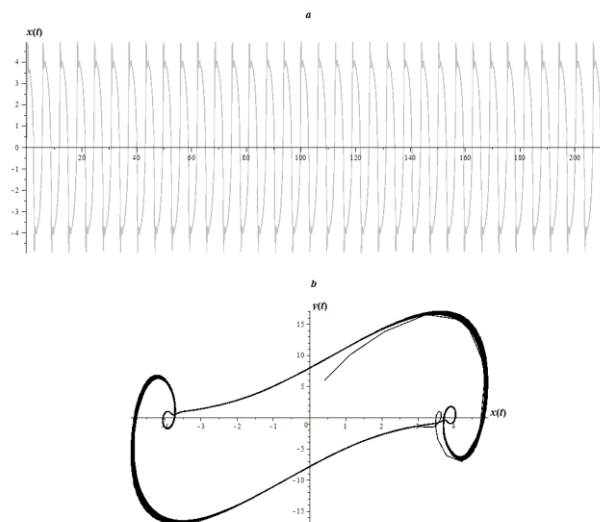


Рис. 5 – Расчетная кривая, полученная по формуле (4) а) и фазовая траектория б)

Растроение амплитуды мы наблюдаем в следующем примере.

**Пример 6.** Примеры:  $N = 2000, \sigma = 30, \alpha = 0.15, p = 1.9, q = 0.8, \omega = 1, h = 0.05$ .

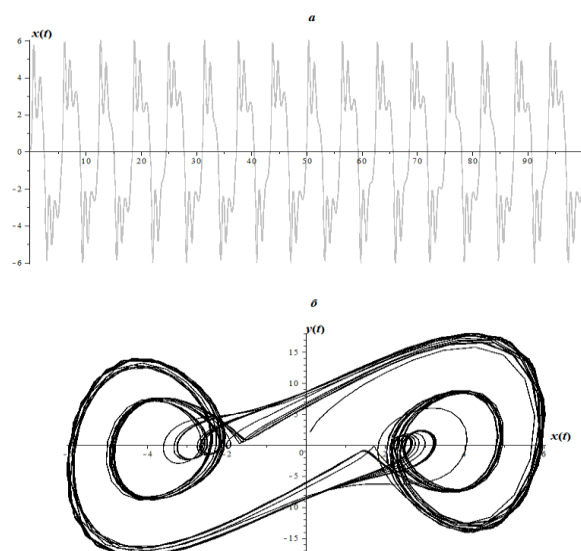


Рис. 6 – Расчетная кривая, полученная по формуле (4) а) и фазовая траектория б)

В этом случае мы видим растроение амплитуды колебаний (рис.6а), что приводит к дополнительны петлям на фазовой траектории (рис. 6б.)

**Заключение.** Была предложена математическая модель эредитарного осциллятора Дуффинга с вязким трением и внешнем гармоническом воздействии. Построена явная конечно-разностная схема для численного счета приближенного решения задачи Коши в локальной постановке.

С учетом различных значений управляющих параметров, построены осциллограммы и фазовые траектории. Показано, что фазовые траектории выходят на предельный цикл, также показано, что могут существовать режимы присущи другим колебательным системам, например, эредитарному осциллятору Ван дер Поля [13]. Поэтому решение эредитарного осциллятора Дуффинга обладает более широкими свойствами, чем его классический аналог. Это можно объяснить тем, что порядки дробных производных Римана-Лиувилля  $p$  и  $q$  являются дополнительными степенями свободы для рассматриваемой колебательной системы, что несомненно расширяет ее свойства.

Вопросы устойчивости точек покоя эредитарного осциллятора Дуффинга можно исследовать по аналогии с методикой работы [14]. Другое направление исследований эредитарного осциллятора Дуффинга является его обобщение на случай, когда порядки дробных производных представляют собой функции от временной координаты по аналогии с работой [8]. В этом случае необходимо разрабатывать эффективные численные методы решения соответствующей задачи Коши.

#### Литература

1. Учайкин В.В. Метод дробных производных. Ульяновск: Артишок, 2008. 512 с.
2. Gao X., Yu J. Chaos in the fractional order periodically forced complex Duffing's oscillators // Chaos, Solitons & Fractals. 2005. T. 24. №. 4. С. 1097-1104.
3. Rossikhin Y. A., Shitikova M. V. Application of fractional calculus for dynamic problems of solid mechanics: novel trends and recent results // Applied Mechanics Reviews. 2010. T. 63. №. 1. С. 010801.



4. Petras I. Fractional-Order Nonlinear Systems: Modeling, Analysis and Simulation. New York: Springer, 2010.
5. Syta A., Litak G., Lenci S., Scheffler M. Chaotic vibrations of the Duffing system with fractional damping // Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. 2014. Vol. 24, no. 1. P. 013107.
6. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его приложения. М.: Физматлит, 2003. 272 с.
7. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1977. 456 с.
8. Паровик Р.И. О численном решении уравнения фрактального осциллятора с производной дробного переменного порядка от времени // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2014. №. 1 (8). С. 60-65.
9. Паровик Р. И. Численный анализ некоторых осцилляционных уравнений с производной дробного порядка // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2014. №. 2 (9). С. 30-35.
10. Паровик Р.И. Об одной конечно-разностной схеме для математической модели нелинейного эрдитарного осциллятора // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 4-2 (46). С. 138-142.
11. Петухов А.А., Ревизников Д.Л. Алгоритмы численных решений дробно-дифференциальных уравнений // Вестник МАИ. 2009. Т. 16. № 6. С. 228-243.
12. Паровик Р.И. Математическое моделирование нелокальной колебательной системы Дуффинга с фрактальным трением // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2015. №. 1 (10). С. 18-24.
13. Паровик Р.И. Математическая модель фрактального осциллятора Ван дер Поля // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. 2015. Т.17. № 2. С. 57-62.
14. Паровик Р.И. Об исследовании устойчивости эрдитарного осциллятора Ван-дер-Поля // Фундаментальные исследования. 2016 №3(2). С. 283-287

#### References

1. Uchajkin V.V. Metod drobnnyh proizvodnyh. Ul'janovsk: Artishok, 2008. 510 s.
2. Gao X., Yu J. Chaos in the fractional order periodically forced complex Duffing's oscillators // Chaos, Solitons & Fractals. 2005. T. 24. №. 4. С. 1097-1104.
3. Rossikhin Y. A., Shitikova M. V. Application of fractional calculus for dynamic problems of solid mechanics: novel trends and recent results // Applied Mechanics Reviews. 2010. T. 63. №. 1. С. 010801.
4. Petras I. Fractional-Order Nonlinear Systems: Modeling, Analysis and Simulation. New York: Springer, 2010.
5. Syta A., Litak G., Lenci S., Scheffler M. Chaotic vibrations of the Duffing system with fractional damping // Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. 2014. Vol. 24, no. 1. P. 013107.
6. Nahushev A.M. Drobnoe ischislenie i ego prilozhenija. M.: Fizmatlit, 2003. 272 s
7. Marchuk G.I. Metody vychislitel'noj matematiki. M.: Nauka, 1977. 456 s.
8. Parovik R.I. O chislenom reshenii uravnenija fraktal'nogo oscilljatora s proizvodnoj drobnogo peremennogo porjadka ot vremeni // Vestnik KRAUNC. Fiziko-matematicheskie nauki. 2014. 1(8). S. 60-65. DOI: 10.18454/2079-6641-2014-8-1-60-65.
9. Parovik R.I. Numerical analysis some oscillation equations with fractional order derivatives// Bulletin KRASEC. Physical & Mathematical Sciences, 2014, 9:2, P. 34–38, DOI: 10.18454/2313-0156-2014-9-2-34-38.
10. Parovik R.I. Ob odnoj konechno-raznostnoj sheme dlja matematicheskoy modeli nelinejnogo jereditarnogo oscilljatora // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2016. № 4-2 (46). S. 138-142.
11. Petuhov A.A., Reviznikov D.L. Algoritmy chislennyh reshenij drobno-differencial'nyh uravnenij // Vestnik MAI. 2009. T. 16. № 6. S. 228-243.
12. Parovik R.I. Mathematical modeling of nonlocal oscillatory Duffing system with fractal friction// Bulletin KRASEC. Physical & Mathematical Sciences, 2015, 10:1, P. 16–21 DOI: 10.18454/10.18454/2313-0156-2015-10-1-16-21.
13. Parovik R.I. Matematicheskaja model' fraktal'nogo oscilljatora Van der Polja // Doklady Adygskoj (Cherkesskoj) Mezhdunarodnoj akademii nauk. 2015. T.17. № 2. S. 57-62.
14. Parovik R.I. Ob issledovanii ustojchivosti jereditarnogo oscilljatora Van-der-Polja // Fundamental'nye issledovanija. 2016 №3(2). S. 283-287.



Международный научно-исследовательский журнал включен в базу научного цитирования **Google Scholar**.

**Google Scholar** – поисковая система по полным текстам научных публикаций всех форматов и дисциплин. Наличие статей в **Google Scholar** увеличивает возможность цитируемости, не только в России, но и за рубежом.



DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.129

Елисеева С.А.<sup>1</sup>, Куткина М.Н.<sup>2</sup>, Котова Н.П.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-1051-4016, Кандидат технических наук,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-1825-0023, кандидат технических наук,<sup>3</sup>кандидат технических наук,

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И РАСШИРЕНИЕ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ ИЗ ОВОЩЕЙ ДЛЯ ИНДУСТРИИ ПИТАНИЯ****Аннотация**

*В статье рассмотрены аспекты совершенствования технологии и способы расширения ассортимента продукции из региональных овощей, являющихся важным компонентом здорового питания. В Северо-Западном регионе нашей страны к популярным и доступным овощам относятся кабачки. Однако использование их в предприятиях индустрии питания, в частности, в социальном секторе, крайне ограничено и связано с их сезонным поступлением, отсутствием экономически выгодных способов консервирования, продления сроков годности, узким ассортиментом блюд из них. Совершенствование технологии полуфабрикатов из сезонных овощей повышает круглогодичную доступность их, расширяет спектр использования овощей в индустрии питания.*

**Ключевые слова:** сезонные овощи, технология, ассортимент, индустрия питания.

Eliseeva S.A.<sup>1</sup>, Kutkina M.N.<sup>2</sup>, Kotova N.P.<sup>3</sup>,<sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-1825-0097, PhD in Engineering,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-1825-0023, PhD in Engineering,<sup>3</sup>PhD in Engineering,

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

**THE IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY AND EXPANSION OF ASSORTMENT OF PRODUCTION OF VEGETABLES FOR FOOD INDUSTRY****Abstract**

*In the article the aspects of improving technology and expanding the assortment of regional products from vegetables, which are important components of a healthy food. In the North-Western region of our country zucchini are popular and affordable vegetables. However, their use in enterprises of catering, in particular in the social sector are very limited and due to their seasonal arrival, the lack of cost-effective ways of preservation, extension of shelf-life, a narrow assortment of dishes. Improving the technology of semi-finished products of seasonal vegetables makes increased their year-round availability, expands the range of use of the vegetables in catering.*

**Keywords:** seasonal vegetables, technology, assortment, food industry.

Важным компонентом здорового питания является обеспечение населения доступными региональными овощами. В Северо-Западном регионе нашей страны к таким овощам относятся кабачки. Однако использование кабачков отечественного производства в предприятиях индустрии питания, в частности, в социальном секторе, крайне ограничено и связано с их сезонным поступлением, отсутствием экономически выгодных способов консервирования и продления сроков годности, ограниченным ассортиментом блюд и изделий из них.

В условиях централизованного производства кулинарное использование кабачков вызывает дополнительные трудности: не учитываются такие важные показатели, формирующие качество продукции, как особенности химического состава в зависимости от сорта и товарной спелости плодов. Пищевая ценность готовой продукции определяется не только биохимическим составом сырья, но также физико-химическими изменениями макро- и микронутриентов при термической обработке. Для овощей, в первую очередь, это относится к изменению массы, содержанию биологически активных соединений и др. Эти факторы определили тему и актуальность данной работы.

*Цель работы* – расширение ассортимента продукции из кабачков в предприятиях индустрии питания за счет совершенствования способов и режимов их кулинарной обработки с учетом их химического состава и морфологических признаков.

В качестве объектов исследования были выбраны популярные сорта кабачков: Белоплодный, Куанд и Zucchini Costata.

Отбор проб, подготовку их к анализу, определение массовой доли сухих веществ и содержания витамина С проводили стандартными методами, структуру тканей изучали методом сравнительного микроскопирования на микроскопе Labomed при увеличении в 125 раз; органолептический анализ проводили по 5-ти балльной шкале.

Технологические свойства и пищевая ценность плодов формируется в зависимости от их сортовых особенностей и съемной зрелости, которая находится в интервале 11 ... 16 дней. В связи с тем, что плоды характеризуются показателем - хозяйственная спелость, в сельском хозяйстве принято два срока сбора их: через 6 и 12 суток после формирования завязи. Морфологическая характеристика кабачков дана в таблице 1.

Таблица 1 – Морфологическая характеристика кабачков в зависимости от срока сбора

Показатели	Срок сбора, сут	
	6	12
<b>Zucchini Costata</b>		
Масса плода, г	164,0±5,0	654,0±24,0
Масса кожицы, %	20,6±1,2	17,5±0,9
Масса семян и семенной мякоти, %	12,9±0,7	13,8±0,7
<b>Куанд</b>		
Масса плода, г	158,8±4,8	844,0±18,7
Масса кожицы, %	17,7±1,1	12,6±1,0
Масса семян и семенной мякоти, %	15,3±0,8	8,0±0,9
<b>Белоплодный</b>		
Масса плода, г	160,3±5,1	814,0±17,8
Масса кожицы, %	17,1±1,0	13,8±0,8
Масса семян и семенной мякоти, %	20,1±1,1	17,0±1,2

Как видно из таблицы 1, отклонение от среднего значения в массе плодов 6-дневной зрелости составило 11%, массы кожицы – 3%, семенной мякоти – 4%. Для кабачков 12-дневной зрелости отклонение массы плодов составило 11%, массы кожицы – 3% и семенной мякоти – 14%.

Кабачки характеризуются повышенной массовой долей влаги (около 90%), содержат железо, в количестве 2,2% от суточной нормы, и витамин С – почти 17 % от суточной нормы. Отличительной особенностью биохимического состава кабачков является высокое содержание растворимого пектина и низкое содержание нерастворимого протопектина.

Микроскопический анализ показал, что уменьшение удельной массы паренхимной ткани происходит за счет увеличения объема воздушно-газовых включений в межклеточном пространстве её. Этим объясняется нежная консистенция паренхимной ткани кабачков, объемная масса которой меньше 1,0 г/см.

В овощах содержание белков невелико (1-2%), поэтому их денатурация не вызывает дегидратацию продукта. Исключение составляют кабачки, у которых дегидратация связана с механическим разрушением клеточных стенок. При повышении температуры греющей среды до определенного значения (температура начала дегидратации) в тканях плодов начинается активное выделение влаги в виде капель, выступающих на поверхности образцов.

Термическую обработку проводили в двух режимах: припускание в собственном соку (температура 98±1°C); жарка с жиром (температура греющей среды 190±3°C, модуль 1: 0,1). В качестве контрольного образца использовали свежие плоды кабачков сорта Белоплодный, не подвергнутые тепловой обработке. Данные эксперимента приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика химического состава кабачков сорта Белоплодный при различных режимах тепловой обработки

Режим	Массовая доля влаги, %	Витамин С, мг%	Моносахариды	Общее количество сахаров	Пектиновые вещества	
					Пектин	Протопектин
Контроль	95,4	12.87±0,62	3.17±0,16	3.63±0,17	0.153±0.007	0.023±0.001
Припускание	78,2	6.41±0,32	3.50±0,18	4.34 ±0,31	0.196±0.001	0.023±0.001
Жарка	67,8	2.84±0,13	5.11±0,25	5.17±0,45	0.258±0.015	0.022±0.001

Как видно из таблицы 2, при термической обработке существенно изменяется химический состав плодов. Интересно, что при разных технологических режимах потери массы и пищевой ценности в исследуемых плодах различны. Анализ данных показывает, что содержание витамина С в процессе припускания уменьшается почти вдвое, а при жарке с жиром изменяется незначительно. Общее количество сахаров возрастает, предположительно, за счет гидролиза гемицеллюлоз. Моносахариды составляют основную часть всех сахаров, как в сырых, так и в температурно-обработанных кабачках.

Значительная часть пектиновых веществ в кабачках представлена растворимым пектином, а содержание нерастворимого протопектина гораздо ниже и практически не изменяется при разных видах термической обработки.

В ходе исследования установили, что фактором, затрудняющим высушивание кабачков, является их аномальная дегидратация, наступающая самопроизвольно при нагревании плодов до температуры около 73°C и сопровождающаяся значительными потерями влаги и пищевых растворимых веществ. Аномальные потери влаги можно объяснить механическим разрушением клеточных стенок за счет повышения давления в воздушно-газовых включениях.

Авторами разработаны режимы сушки кабачков при температурах ниже температуры начала дегидратации с применением методов лиофильной и ИК-сушки. Полученные сушеные плоды восстанавливают свои первоначальные свойства при обводнении в течение 15..30 мин при температуре воды 20±2°C. В таблице 3 приведены данные об изменении содержания витамина С в восстановленных сушеных кабачках при различных способах термической обработки.

Таблица 3 – Изменение содержания витамина С в восстановленных кабачках сорта Белоплодный при различных видах термической обработки

Способ дегидратации	Содержание витамина С, мг/100г			Потери в %	
	Контроль	98±1°C	190±3°C	98±1°C	190±3°C
Лиофильная сушка	112,7±5,6	67,1±3,4	54,8±2,7	40,0±2,0	51,5±2,5
Инфракрасная сушка	34,3±1,7	20,7±1,1	15,4±0,8	39,1±2,0	55,6±2,5

Был изучен процесс восстановления сушеных кабачков различными способами: обводнение при температуре 20±2°C; гидротермическая обработка при температуре около 98 °C. Характер изменений свидетельствует о том, что масса кабачков наиболее интенсивно увеличивается в первые 10-15 мин после лиофильной сушки. Образцы после инфракрасного высушивания восстанавливаются гораздо медленнее.

Проведенные исследования послужили основой для разработки рецептуры и технологии полуфабриката из кабачков высокой степени готовности (ПК) для промышленного производства на предприятиях питания.

Учитывая то, что исследуемые плоды отличаются повышенным содержанием растворимых пектинов и более низким содержанием нерастворимых протопектинов, было предложено нетрадиционное для профессиональной технологии использование кабачков для десертных блюд и изделий. Их готовили по традиционной технологии для аналогичных видов продукции из пектиносодержащих плодов: яблок, абрикосов, слив и других фруктов путем замены фруктового пюре на ПК.

Были предложены технологии и рецептуры соусов на основе ПК: заправка острая, соус томатный. В результате практических проработок определили коэффициенты замены свежих кабачков кабачковым пюре и пастой при приготовлении традиционных блюд.

Постепенно растительное сырьё занимает все большее место в повседневном питании населения. Это связано с нашим стремлением улучшить качество жизни за счет более доступных и здоровых продуктов, в том числе региональных сезонных овощей. Поэтому совершенствование технологии полуфабрикатов из сезонных овощей повышает круглогодичную доступность их, расширяет спектр использования овощей в предприятиях индустрии питания за счет продления сроков годности.

#### Литература

1. Биохимия / В.Г.Щербаков [и др.]. Под ред. В.Г.Щербакова. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: ГИОРД, 2009. 472с.
2. Богатырева, Т.Г., Лабутина Н.В. Технологии пищевых продуктов с длительными сроками хранения. СПб.: Профессия, 2013. 184с.
3. Голубкина, Н.А. [и др.] Биологически активные соединения овощей. ВНИИССОК. М.: Изд-во ВНИИССОК, 2010. 194с.
4. Котова Н.П. Расширение ассортимента и совершенствование технологии кулинарной продукции из кабачков: автореф. дис. канд. тех. наук: СПб.30.05.97/ СПб.: СПбТЭИ, 1997. 24с.
5. Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. и др. / Пищевая химия. Под ред. Нечаева А.П.- СПб.: ГИОРД, 2007.- 592с.

#### References

1. Biochemistry / Shcherbakov, V. G. [and others]. Under the editorship of V. G. Shcherbakov. 3-e Izd., Rev. and additional SPb.: GIORД, 2009. 472 p.
2. Bogatyreva, T. G., Labutina N. V. Technology of food products with a long shelf life. SPb.: Profession, 2013. 184 p.
3. Golubkina, N. A. [and others]. Biologically active compounds vegetables. VNISSOK. M.: Publishing house of VNISSOK, 2010. 194 p.
4. Kotova N. P. The extension and improvement of the technology of culinary products from zucchini: author. dis. candidate. technical Sciences: St. Petersburg.30.05.97/ SPb.: SPbTEI, 1997. 24 p.
5. Nechaev A. P., Traubenberg S.E., Co-chetkova A. A. / Food chemistry. Edited by A. P. Nechaev SPb.: GIORД, 2007.- 592 p.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.133

Кирпичников В.П.<sup>1</sup>, Давыдов А.М.<sup>2</sup><sup>1</sup>Доктор технических наук, профессор,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-5308-4752, Кандидат технических наук, доцент,

Российский Экономический Университет имени Г. В. Плеханова

**ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАГРУЗКИ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
ПАРОКОНВЕКТОМАТОВ****Аннотация**

*В статье представлен анализ теоретического исследования влияния величины загрузки рабочей камеры на технико-экономических показателей пароконвектоматов различной производительности. При этом наглядно показано, что чем больше вместимость пароконвектомата, тем выше его к. п. д. и меньше удельный расход электроэнергии на единицу производимой продукции. Доказано, что с уменьшением загрузки резко повышается удельный расход электрической энергии на единицу производимой продукции, а при снижении загрузки до 60% и менее от номинальной величины, необходима замена пароконвектомата на пароконвектомат с меньшей производительностью (вместимостью). Соответственно экономически выгодно иметь пароконвектоматы большой вместимости, но при этом их загрузка должна быть не менее 60% от номинального объема рабочей камеры.*

**Ключевые слова:** пароконвектоматы, анализ пароконвектоматов, энергетическая эффективность пароконвектоматов, расчет пароконвектоматов.

Kirpichnikov V.P.<sup>1</sup>, Davydov A.M.<sup>2</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering, Professor,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-5308-4752, PhD in Engineering, Assistant Professor,

Plekhanov Russian University of Economics

**INFLUENCE OF VALUES LOADING ON TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF COMBI OVENS****Abstract**

*The article presents an analysis of the theoretical research of the effect of volume of the load of the working chamber on the technical and economic indicators of combi ovens of different capacity. This clearly shows that the bigger capacity of the combi ovens, the higher the efficiency and lower specific energy consumption per unit of production. It is proved that with a decrease of loading sharply increases the specific consumption of electrical energy per unit of production, when reducing of loading to 60% or less of the nominal value should be replaced with combi ovens to a lower capacity. Accordingly, economically advantageous to have a large capacity combi ovens, but their loadings should be at least 60% of the nominal volume of the working chamber.*

**Keywords:** combi ovens, analysis combi ovens, energy efficiency of combi ovens, combi ovens computation.

**Ж**арка – один из основных видов тепловой кулинарной обработки пищевых продуктов. Она может осуществляться на нагретой поверхности, в парогазовой среде, под действием инфракрасного излучения и путем конвективного нагрева [1, 4]. В последнее время широкое распространение в предприятиях общественного питания получила жарка в парогазовой среде при принудительной конвекции. К аппаратам осуществляющим такой процесс жарки относятся пароконвектоматы.

Наличие в рабочей камере аппарата крыльчатки (турбины) вентилятора, обеспечивает рециркуляционное движение греющей среды с высокой скоростью. Благодаря этому обеспечивается равномерное температурное поле по всему объему рабочей камеры и значительно интенсифицируется нагрев пищевого продукта. При этом продолжительность приготовления сокращается в среднем на 20% [1, 3], что в свою очередь обеспечивает меньшее термическое разрушение сырья и соответствующее сохранение полезных веществ и, как следствие, обеспечивает более высокое качество готовых изделий.

В рабочей камере данных аппаратов продукт размещают в не высоких противнях (гастроёмкостях) в основном размером GN 1/1. Серийно выпускаются отечественные и зарубежные конвективные аппараты на 6, 10 и 20 противней (уровней).

Все пароконвектоматы имеют автоматизированную систему принудительного увлажнения греющей среды за счет полученного в парогенераторе (бойлере) пара или подачи в аппарат мелкодисперсной воды из форсунки (инжектора). В зависимости от системы увлажнения пароконвектоматы делятся на аппараты бойлерного и инъекционного типа.

В предприятиях общественного питания находится в эксплуатации большое количество различных типов пароконвектоматов отечественного и зарубежного производства. Все эти пароконвектоматы по устройству и принципу действия – аналогичны. Они различаются, количеством уровней и системой управления, а так же различными дополнительными функциями [1].

В качестве примера рассмотрим программируемые пароконвектоматы бойлерного типа производителя ОАО «Чувашторгтехника» (рис.1.) на 6 (ПКА-6-1/1ПП2), 10 (ПКА-10-1/1ПП2) и 20 (ПКА-20-1/1ПП2) противней [7].

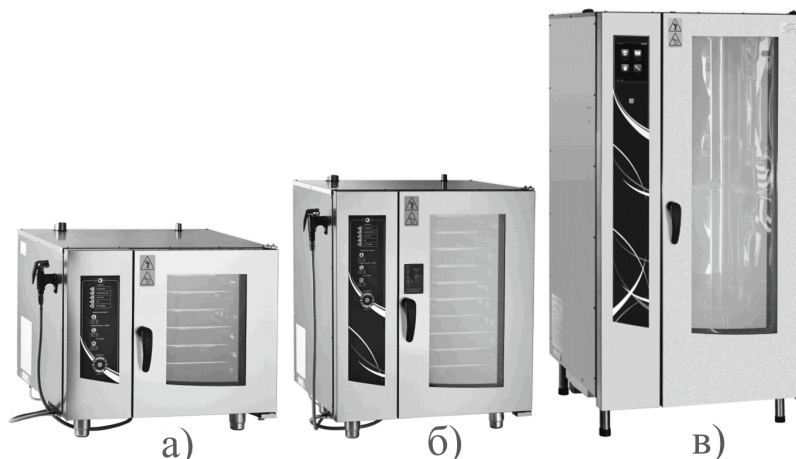


Рис. 1 – Программируемые пароконвектоматыбойлерного типа:  
а – ПКА-6-1/1ПП2; б – ПКА-10-1/1ПП2; в – ПКА-20-1/1ПП2.

Анализ технико-экономических показателей пароконвектоматов можно провести на примере жарки котлет натуральных рубленых (рецептура 839) [6]. При этом полезное количество теплоты ( $Q_{\text{пол}}$ ) – это количество теплоты затраченной на нагревание котлетной массы загружаемой в рабочую камеру, которое определяется по формуле:

$$Q_{\text{пол}} = c_k \cdot m_n \cdot (t_k - t_n), \text{ кДж}; \quad (1)$$

где  $c_k$  – теплоемкость котлетной массы (3,56), кДж/(кг·К);

$m_n$  – номинальная масса котлет загружаемых в рабочую камеру, кг;

$t_k, t_n$  – соответственно конечная и начальная температуры котлетной массы (100 и 20), °С.

Теплоемкость котлетной массы рассчитывается по приближенной универсальной для всех влажных продуктов формуле [1].

$$c_k = \frac{4,19 \cdot a + 1,68 \cdot (100 - a)}{100}, \quad (2)$$

где  $a$  – влажность котлетной массы 75 % [1];

4,19 и 1,68 – соответственно теплоемкость воды и сухих веществ, кДж/(кг·К);

К.п.д. пароконвектомата 0,5...0,7[3], принимаем 0,6. Соответственно затраченное количество теплоты ( $Q_{\text{затр}}$ ) определится по формуле

$$Q_{\text{затр}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{0,6}, \text{ кДж}. \quad (3)$$

Продолжительность жарки состоит из периода разогрева ( $\tau_{\text{раз}}$ ) и периода выдержки при постоянной температуре для доведения до готовности ( $\tau_{\text{дв}}$ ). При этом продолжительность периода разогрева определяется по формуле

$$\tau_{\text{раз}} = \frac{Q_{\text{затр}}}{60 \cdot P}, \text{ мин}, \quad (4)$$

где  $\tau_{\text{раз}}$  – продолжительность разогрева, мин;  $P$  – мощность пароконвектомата, кВт.

Продолжительность же периода доведения до готовности ( $\tau_{\text{дв}}$ ) составляет 4...6 мин [1]. Принимаем 5 мин. Кроме того, необходимо учесть время на загрузку и выгрузку ( $\tau_{\text{зв}}$ ) продукта, которое для пароконвектомата с 6 противнями составляет 1,5 мин, с 10 противнями – 2,5 мин и с 20 противнями – 5,0 мин. Тогда общая продолжительность ( $\tau_{\text{общ}}$ ) тепловой кулинарной обработки котлет натуральных рубленых в пароконвектомате составит

$$\tau_{\text{общ}} = \tau_{\text{раз}} + 5 + \tau_{\text{зв}}. \quad (5)$$

Соответственно количество жарок ( $N$ ) в час составит  $N = 60/\tau_{\text{общ}}$ .

В течение рабочего дня, в зависимости от типа предприятия, его мощности и режима работы, продолжительность работы пароконвектомата колеблется в широких пределах: от 2 до 10 часов. Принимаем продолжительность работы пароконвектомата в течение рабочего дня 6 часов. При этом простой пароконвектомата в течение рабочего дня в дежурном режиме учитывать не будем, так как расход энергии пароконвектоматом за период простоя в дежурном режиме не связан с величиной загрузки рабочей камеры и всегда приводит к увеличению удельного расхода электрической энергии.

Кроме того, продолжительность разогрева пароконвектоматов данного типа не более пяти минут [7], благодаря чему нет необходимости держать их постоянно во включенном состоянии в периоды простоев, что приводит к значительному снижению удельного расхода электроэнергии на единицу производимой продукции.

Номинальная загрузка рабочей камеры пароконвектомата определяется исходя из количества противней загружаемых в рабочую камеру и количества котлет размещаемых в одном противне. Площадь противня типа GN 1/1 равна 0,17 м<sup>2</sup> (1700 см<sup>2</sup>), а площадь котлеты – примерно 85 см<sup>2</sup> [5] при массе полуфабриката (одной котлеты) 143 г [6]. Соответственно масса котлет загружаемых в одну емкость с учетом коэффициента заполнения котлетами жарочной поверхности 0,8 [1] составляет:  $m_1 = 1700 \times 0,8 / 85 \times 143 = 2288 \text{ г} = 2,29 \text{ кг}$ .

Удельный расход электроэнергии на тепловую кулинарную обработку котлет определяется по формуле

$$\omega = \frac{W_{\text{общ}}}{m_{\text{ч}}}, \quad (5)$$

где  $\omega$  – удельный расход электроэнергии, кВт·ч/кг;

$W_{\text{общ}}$  – суммарный расход электроэнергии за час, кВт·ч;

$m_{\text{ч}}$  – масса подвергшихся жарке котлет за час, кг.

Результаты расчета при номинальной (полной) загрузке пароконвектомата котлетами натуральными рублеными представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные технико-экономические показатели пароконвектоматов

№ п/п	Показатели	Значение		
		ПКА-6-1/1ПП2	ПКА-10-1/1ПП2	ПКА-20-1/1ПП2
1.	Мощность пароконвектомата ( $P_{\text{н}}$ ), кВт	9,5	12,5	35
2.	Количество устанавливаемых противней, шт	6	10	20
3.	Единоновременная загрузка ( $m_{\text{н}}$ ), кг	13,74	22,9	45,8
4.	Массовая мощность ( $\omega_{\text{с}}$ ), кВт/кг	0,69	0,54	0,76
5.	Полезное количество теплоты ( $Q_{\text{пол}}$ ), кДж	3913	6522	13044
6.	Продолжительность разогрева ( $\tau_{\text{раз}}$ ), мин	11,44	14,49	10,35
7.	Общая продолжительность жарки ( $\tau_{\text{общ}}$ ), мин	17,94	21,99	20,35
8.	Количество жарок ( $N$ ) в час	3,34	2,73	2,93
9.	Производительность пароконвектомата, кг/ч	45,89	62,52	134,19
10.	Удельный расход электроэнергии ( $\omega$ ), кВт·ч/кг	0,21	0,20	0,26

Из приведенной табл. 1 видно, что с увеличением массовой мощности продолжительность разогрева изделий уменьшается, а удельный расход электроэнергии на единицу производимой продукции на тепловую кулинарную обработку возрастает. С экономической точки зрения наиболее выгодным является соотношение мощности и величины загрузки рабочей камеры у пароконвектомата ПКА-10-1/1ПП2 и составляет 0,54 кВт/кг.

С изменением величины загрузки рабочей камеры изменится полезное количество теплоты ( $Q_{\text{пол}}$ ) пропорционально изменению массы загрузки. Однако продолжительность периода доведения до готовности котлет при постоянной температуре и продолжительность загрузки и выгрузки останутся неизменными не зависимо от массы загружаемого продукта. Соответственно изменение массы загрузки приведет к пропорциональному сокращению только периода прогревания котлет до установившейся температуры.

Исходя из принятой ранее продолжительности периода доведения до готовности ( $\tau_{\text{дг}}$ ), продолжительности загрузки и выгрузки ( $\tau_{\text{зв}}$ ) и рассчитанной продолжительности разогрева ( $\tau_{\text{раз}}$ ) продукта можно определить общую продолжительность ( $\tau_{\text{общ}}$ ) процесса тепловой кулинарной обработки с изменением массы загрузки и соответственно удельный расход электрической энергии на процесс в зависимости от массы загрузки. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчета удельного расхода электроэнергии от массы загрузки

m, кг	Пароконвектоматы								
	ПКА-6-1/1ПП2			ПКА-10-1/1ПП2			ПКА-20-1/1ПП2		
	$\tau_{\text{общ}}$ мин	N, шт/ч	$\omega$ , кВт·ч/кг	$\tau_{\text{общ}}$ мин	N, шт/ч	$\omega$ , кВт·ч/кг	$\tau_{\text{общ}}$ мин	N, шт/ч	$\omega$ , кВт·ч/кг
1,0· $m_{\text{н}}$	17,94	3,34	0,21	21,99	2,73	0,20	20,35	2,93	0,26
0,8· $m_{\text{н}}$	15,65	3,83	0,23	19,09	3,14	0,22	18,28	3,28	0,29
0,6· $m_{\text{н}}$	13,36	4,49	0,25	16,19	3,70	0,25	16,21	3,70	0,34
0,4· $m_{\text{н}}$	11,07	5,42	0,32	13,30	4,51	0,30	14,14	4,24	0,45
0,2· $m_{\text{н}}$	8,79	6,82	0,50	10,40	5,77	0,47	12,07	4,97	0,77

Из приведенной табл. 2 видно, что с уменьшением величины загрузки общая продолжительность тепловой кулинарной обработки котлет уменьшается, а количество жарок и удельный расход электроэнергии возрастают. При этом возрастание удельного расхода электроэнергии наиболее ярко выражено (в 2,96 раза) у пароконвектомата (ПКА-20-1/1ПП2) с максимальной массовой мощностью (0,76 кВт/кг).

Масса котлет произведенная за рабочий день при различной загрузке рабочей камеры составит

$$m_{\text{р}} = m \cdot N \cdot 6 \text{ кг}, \quad (6)$$

где  $m_{\text{р}}$  – масса котлет подвергшихся тепловой кулинарной обработке за рабочий день, кг/день;

$m$  – единовременная загрузка пароконвектомата, кг/загр;

$N$  – количество жарок (загрузок) в час, загр/ч;

6 – количество часов работы пароконвектомата за рабочий день, ч/день.

Масса котлет прошедших тепловую кулинарную обработку в пароконвектомате за год определяется по формуле

$$M_k = m_p \cdot n, \quad (7)$$

где  $M_k$  – масса котлет прошедших тепловую кулинарную обработку в пароконвектомате за год, кг  
 $n$  – число рабочих дней предприятия в год (принимается 353).

Так годовая масса жареных котлет при номинальной загрузке рабочей камеры составит: для пароконвектомата ПКА-6-1/1ПП2– 97181 кг; ПКА-10-1/1ПП2– 132410 кг и ПКА-20-1/1ПП2– 284200 кг.

Расчет годового потребления электроэнергии пароконвектоматом в кВт·ч производится по формуле

$$W_{\text{год}} = M_k \cdot \omega \cdot 1,05, \quad (8)$$

где 1,05 – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в распределительной сети.

Цена на электрическую энергию различна для различных потребителей и различных регионов РФ. Возьмем стоимость электроэнергии для торговых предприятий г. Москвы по одноставочному тарифу действующему с 1 июля 2015 года – 5,03 руб./кВт·ч [8]. Результаты расчетов годового расхода электроэнергии и ее стоимости ( $C_{\Sigma}$ ) при жарке постоянной массы котлет при различной загрузке рабочей камеры сведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты расчета экономической эффективности пароконвектоматов от массы загрузки

m (кг)	Пароконвектоматы								
	ПКА-6-1/1ПП2			ПКА-10-1/1ПП2			ПКА-20-1/1ПП2		
	$W_{\text{год}},$ кВт·ч	$C_{\Sigma},$ руб	$\Delta C_{\Sigma},$ руб	$W_{\text{год}},$ кВт·ч	$C_{\Sigma},$ руб	$\Delta C_{\Sigma},$ руб	$W_{\text{год}},$ кВт·ч	$C_{\Sigma},$ руб	$\Delta C_{\Sigma},$ руб
$1,0 \cdot m_n$	21428	107783	–	27806	139864	–	77586	390257	–
$0,8 \cdot m_n$	23469	118255	10472	30587	153852	13988	86539	435291	45034
$0,6 \cdot m_n$	25510	128315	20532	34757	174878	35014	101459	510339	120082
$0,4 \cdot m_n$	32653	164244	56461	41709	209796	69032	134284	675448	285191
$0,2 \cdot m_n$	51020	256630	148847	65344	328680	188816	229776	1155773	765516

Из приведенных данных наглядно видно, что с уменьшением загрузки пароконвектомата затраты на электроэнергию существенно возрастают. Так при работе пароконвектомата с загрузкой 0,2 от номинального значения при производстве номинальной массы котлет в год плата за электроэнергию возрастет в среднем в 2,56 раза. При этом переплата за год в рублевом выражении составит: для ПКА-6-1/1ПП2– 148847 руб.; ПКА-10-1/1ПП2– 188816 руб.; ПКА-20-1/1ПП2– 765516 руб.

Следует учитывать, что полученные результаты соответствуют работе пароконвектомата в течение рабочего дня 6 часов. Соответственно с увеличением продолжительности работы пароконвектомата в течение рабочего дня резко возрастет и переплата за электроэнергию.

При неправильном выборе пароконвектомата (завышена вместимость) он постоянно будет работать в недогруженном режиме. Если средняя загрузка пароконвектомата составляет 60% и менее от номинальной величины, то необходима его замена на пароконвектомат с меньшей производительностью (вместимостью), что приводит к значительному снижению удельного расхода электроэнергии. При стоимости пароконвектоматов на сегодняшний день: ПКА-6-1/1ПП2– 313900 руб., ПКА-10-1/1ПП2– 341020 руб. и ПКА-20-1/1ПП2– 549900 руб. [7] такая замена быстро окупится.

### Литература

1. Кирпичников В. П., Ботов М. И. Оборудование предприятий общественного питания. Ч.2. Тепловое оборудование: уч. для студ. высш. учеб. заведений, издание второе: – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 496 с.
2. Кирпичников В. П., Давыдов А.М. Математическая обработка результатов исследования границ недопустимых температур тепловых аппаратов предприятий общественного питания. Вестник Российского Экономического Университета имени Г.В.Плеханова №1 (85) 2016. С.108-111.
3. Кирпичников В. П., Ботов М. И., Давыдов Д.М. Исследование процессов размораживания и разогрева кулинарной продукции в аппарате с принудительной конвекцией теплоносителя. Труды Инженерно-экономического института. Вып. 4. – М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2004. – 569 с.
4. Давыдов Д.М., Ботов М. И., Кирпичников В. П. Электротепловое оборудование предприятий индустрии питания: учебное пособие. – Москва: ФГБОУ «РЭУ им. Г.В.Плеханова», 2012. – 144 с.
5. Никуленкова Т.Т., Ястина Г.М. Проектирование предприятий общественного питания. – М.: КолосС, 2006. – 247с.
6. Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий. Нормативная документация для предприятий общественного питания. Сост. Румянцев А.В. – М.: Издательство «Дело и Сервис», 1998. – 864 с.
7. Пароконвектоматы [Электронный ресурс] URL: <http://www.torgtech.ru/catalogue2015> (дата обращения 12.04.2016).
8. Тариф на электроэнергию в Москве 2015 [Электронный ресурс] URL: [http://www.ruscable.ru/articles/tarifs/doc/Tarifi\\_2015/Tarify\\_na\\_elekt-roenergiu\\_v\\_Moskve\\_2015](http://www.ruscable.ru/articles/tarifs/doc/Tarifi_2015/Tarify_na_elekt-roenergiu_v_Moskve_2015) (дата обращения 12.04.2016).

### References

1. Kirpichnikov V. P., Botov M. I. Oborudovanie predpriyatij obshhestvennogo pitaniya. Ch.2. Teplovoe oborudovanie: uch. dlja stud. vyssh. ucheb.zavedenij, izdanie vtoroje: – М.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2012. – 496 s.
2. Kirpichnikov V. P., Davydov A.M. Matematicheskaja obrabotka rezul'tatov issledovanija granic nedopustimyh temperatur teplovyh apparatov predpriyatij obshhestvennogo pitaniya. Vestnik Rossijskogo Jekonomicheskogo Universiteta imeni G.V.Plehanova №1 (85) 2016. S.108-111.



3. Kirpichnikov V. P., Botov M. I., Davydov D.M. Issledovanie processov razmorazhivaniya i razogreva kulinarnoj produkcii v apparate s prinuditel'noj konvekciej teplonositel'ja. Trudy Inzhenerno-jekonomicheskogo instituta. Vyp. 4. – M.: Izd-vo Rossel'hoz akademii, 2004. – 569 s.

4. Davydov D.M., Botov M. I., Kirpichnikov V. P. Jeлектroteplovoe oborudovanie predpriyatij industrii pitaniya: uchebnoe posobie. – Moskva: FGBOU «RJeU im. G.V.Plehanova», 2012. – 144 s.

5. Nikulenkova T.T., Jastina G.M. Proektirovanie predpriyatij obshhestvennogo pitaniya. – M.: KolosS, 2006. – 247s.

6. Sbornik receptur bljud i kulinarных izdelij. Normativnaja dokumentacija dlja predpriyatij obshhestvennogo pitaniya. Sost. Rumjanceva A.V. – M: Izdatel'stvo «Delo i Servis», 1998. – 864 s.

7. Parokonvektomaty [Jeлектronnyj resurs] URL: [http://shhshhshh.torgtech.ru/catalogue2015\(data obrashhenija 12.04.2016\)](http://shhshhshh.torgtech.ru/catalogue2015(data obrashhenija 12.04.2016)).

8. Tarif na jelektrojenergiju v Moskve 2015 [Jeлектronnyj resurs] URL: [http://shhshhshh.ruscable.ru/articles/tarifs/doc/Tarifi\\_2015/Tarify\\_na\\_elekt-roenergiju\\_v\\_Moskve\\_2015\(data obrashhenija 12.04.2016\)](http://shhshhshh.ruscable.ru/articles/tarifs/doc/Tarifi_2015/Tarify_na_elekt-roenergiju_v_Moskve_2015(data obrashhenija 12.04.2016)).

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.175

Ключникова Д.В.<sup>1</sup>, Исмаилова А.И.<sup>2</sup>, Кузнецова А.А.<sup>3</sup>, Тарасова А.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Кандидат технических наук, доцент,

<sup>2</sup>магистрант,

<sup>3,4</sup>студент

Воронежский государственный университет инженерных технологий

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ, ОБОГАЩЕННЫЕ НЕТРАДИЦИОННЫМИ РАСТИТЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

#### Аннотация

*В статье рассмотрено использование растительного сырья в технологии молочных продуктов. С использованием таких растительных компонентов, как имбирь, кунжут, тыква предложены различные функциональные молочные продукты: сывороточный напиток, кисломолочный напиток и творожные продукты обогащенные семенами кунжута и тыквы. Раскрыта степень полезности вносимых растительных компонентов- обогатителей и показано значение функциональных продуктов для профилактического и лечебного влияния на организм человека.*

**Ключевые слова:** сывороточный напиток, творожный продукт, функциональное питание, растительное сырьё, тыква, кунжут.

Klyuchnikova D.B.<sup>1</sup>, Ismailova A.I.<sup>2</sup>, Kuznetsova A.A.<sup>3</sup>, Tarasova A.V.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, Associate professor,

<sup>2</sup>undergraduate,

<sup>3,4</sup>student

Voronezh State University of Engineering Technology

### FUNCTIONAL DAIRY PRODUCTS, ENRICHED WITH NON-TRADITIONAL BOTANICALS

#### Abstract

*In the article the use of plant materials in the technology of dairy products. With the use of these herbal ingredients, like ginger, sesame, pumpkin suggested different functional dairy products: whey drink, fermented milk and cheese products enriched with sesame seeds and pumpkin. Extent of usefulness of insertion botanicals - mineral processing and illustrates the value of functional foods for prophylactic and therapeutic effects on the human body.*

**Keywords:** curd product, functional food, plant material, pumpkin, sesame.

Определяющим приоритетом развития молочной отрасли России является не столько расширение ассортимента традиционных продуктов, сколько внедрение в линейку молочных продуктов различных обогащенных функциональными ингредиентами продуктов. Это влечет в свою очередь необходимость внедрения в промышленности новых технологий, позволяющих использовать различные немолочные компоненты, которые придают известным продуктам обновленные свойства. По мнению акад. РАМН В.А. Тутельяна, здоровье человека определяется - структурой питания. Функциональные продукты нацелены на обеспечение организма человека не просто энергией и питательными веществами, но и имеют специальную детерминирующую направленность с лечебно-профилактическими целями. Существуют различные группы веществ, обуславливающие функциональность обогащаемых продуктов: пищевые волокна, витамины, минеральные вещества, полиненасыщенные жирные кислоты, антиоксиданты, пребиотики, пробиотики.

Уникальность молочных продуктов обусловлена способностью обеспечить в основных незаменимых питательных компонентах организм человека. А внесение растительных ингредиентов добавляет им функциональности. Минеральные вещества функциональных добавок являются жизненно необходимыми и полезными элементами для организма человека.

Перспективным является внесение в рецептурные композиции молочных продуктов различного растительного сырья. В качестве растительного сырья для обогащения молочного сырья используют достаточно широкий спектр растительных ингредиентов: ягоды, бобовые, плоды, зерновые и продукты их переработки (шроты, жмыхи, муку), различные масличные культуры и т.д.

Одним из критериев выбора растительного сырья является его возможность расширить ассортимент существующей линейки продуктов за счет повышения пищевой ценности, изменения органолептических, потребительских характеристик и удешевление в сравнении с аналогами без растительных составляющих.

Важным фактором при создании молочных функциональных продуктов является придание новых свойств, которые будут обоснованы внесением компонентной добавки

Топинамбур (лат. *Heliánthus tuberosus*) клубненозное растение семейства Астровые. Его клубни содержат до 18 % инулина, около 3 % белка. Они богаты различными витаминами (С, В1, каротином), минеральными и азотистыми веществами.

Люпин (лат. *Lupinus*) — растение из семейства Бобовые. Он содержит различные растительные белки: до 38 % альбуминов; до 36 % глобулинов, проламины и глютелины. - 4,3 %, проламины 0,6 %. Все минеральные вещества отнесены к жизненно необходимым или функционально полезным элементам.

Внесение люпина в молочные системы позволяет не только обогатить растительным белком, но и использовать его как стабилизационный ингредиент.

Цикорий (*Cichorium*) - травянистое растение из семейства сложноцветных. Ценность его прежде всего обусловлена наличием большого количества инулина (40 - 60 % в зависимости от сорта). Кроме того, в нем содержится белковые и дубильные вещества, различные сахара, пектин, различные органические кислоты, минеральные элементы и витамины.

Сироп сахарного сорго используют в качестве сахарозаменителя. Он содержит различные сахара (глюкозу, сахарозу, фруктозу). Достаточно богат макро и микроэлементами: кальцием, магнием, медью, калием, натрием, марганцем. Содержит незаменимые аминокислоты и витамины группы В, С, РР, Е.

Имбирь (лат. *Zingiber*) – род многолетних травянистых растений из семейства Имбирные. Имеет клубневидно-расчлененное корневище. Он содержит большое количество аскорбиновой кислоты (около 46 мг/100г), что приближается к содержанию в цитрусовых. Богат имбирь и различными микро и макроэлементами: магний, кремний, марганец, германий, алюминий, фосфор, натрий, калий и другие. Содержание эфирных масел в составе обуславливает приятный аромат имбирю, а вещество гингерол наделяет его пряным жгучим вкусом.

Предложен сывороточный напиток с использованием фруктовых соков и имбирным экстрактом. Напиток характеризуется приятным пряным вкусом, слегка островатым с легкими нотками вносимого фруктового сока. В рецептуру напитка включены: подсырная сывотка, сок фруктовый, экстракт имбиря, стабилизатор, подсластитель[2]. Выработанный напиток обладает высокой пищевой и энергетической ценностью. Он содержит растительные ингредиенты, обуславливающие функциональность полученного продукта. При этом происходит обогащение незаменимыми аминокислотами (лейцин, лизин, аргинин, фенилаланин, треонин), витаминами группы В, РР, макро и микроэлементами. Сывороточный напиток предназначен для всех групп потребителей, позволяет расширить ассортимент аналогичных функциональных продуктов.

Разработана технология кисломолочного напитка с экстрактом имбиря. Напиток обладает слегка острым, пряным вкусом. Технология напитка основана на внесении в нормализованное пастеризованное молоко закваски, имбиря, стабилизатора [3]. Полученный продукт характеризуется высокой пищевой и биологической ценностью. Использование корня имбиря придает большую функциональность кисломолочному напитку, кроме того, обеспечивает благодаря имбирному компоненту антиоксидантными свойствами. Кисломолочный напиток соответствует показателям безопасности и качества.

Тыква – низкокалорийный овощ (25 калорий в 100 г), в состав которого входят различные витамины, макро и микроэлементы, органические кислоты. Кроме того, она богата пищевой клетчаткой и пектином.

Внесение тыквенного пюре в творожный продукт позволяет получить низкокалорийный творожный продукт, обогащенный не только полноценным химическим составом, но и пищевыми волокнами тыквы. Пищевые волокна или клетчатка тыквы равномерно распределена между белковыми частицами творожного продукта. В свою очередь, клетчатка - это незаменимый компонент в питании человека с проблемами желудочно-кишечного тракта, в частности при «пассивном» кишечнике и запорах. В предложенном творожном продукте были изучены все требуемые российским законодательством показатели качества и безопасности.

Семена кунжута богаты белками, углеводами, жирами, витаминами, макро и микроэлементами. Он является мощным источником кальция.

Предложена рецептура творожного продукта, обогащенного семенами кунжута. Исследован физико-химический состав полученного продукта, его функционально-технологические свойства, подтверждены показатели безопасности. Кроме того, рассмотрены вопросы предварительной подготовки семян кунжута. Рецептурные модели творожного продукта с диапазоном соотношения всех составных сырьевых компонентов позволили выбрать наиболее оптимальный, по физико-химическим, органолептическим характеристикам состав. Творожный продукт может быть использован в питании широкого круга населения, причем может быть рекомендован в качестве источника пополнения организма кальцием для страдающих заболеваниями костей, в частности страдающих остеопорозом [4,5].

Необходимо отметить, что применение источников растительного сырья в рецептурах молочных продуктов не только расширяет линейку стандартных продуктов питания, но и за счет придания им функциональности позволяет участвовать в лечебно-профилактической деятельности по улучшению и сохранению здоровья населения. В связи с этим, изучение возможности использования растительного сырья в рецептурах молочных продуктов востребовано и перспективно и заслуживает всесторонней поддержки.

### Литература

1. Ключникова Д.В., Лесняк Е.А. Использование тыквы в технологии низкокалорийного творожного десерта. Международная научно-техническая конференция (заочная) «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» [Электронный ресурс]: сборник материалов, 3-4 декабря 2013 г. / Воронеж. гос. ун-т инженерных технологий, ВГУИТ, 2013. –с.455.

2. Ключникова Д.В., Галкина А.С. Имбирный корень в технологии сывороточного напитка / Современные наукоемкие технологии, 2014, №5-1, с.11.

3. Ключникова Д.В., Рамазанова Л.Р. Нетрадиционное сырьё в технологии кисломолочного напитка // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса [Текст]: матер. Междунар. науч.-практ. конф. /Воронеж.гос. ун-т инж. технол. –Воронеж.: ВГУИТ, 2015. –с.430-433.

4. Ключникова Д.В., Исмаилова А.И. Использование нетрадиционного сырья в технологии творожных продуктов // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса [Текст]: матер. Междунар. науч.-практ. конф. /Воронеж.гос. ун-т инж. технол. – Воронеж.: ВГУИТ, 2015. –с.427-430.

5. Ключникова Д.В. Функциональный творожный продукт // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 3-1 (34). С. 73-74.

#### References

1. Klyuchnikova D. V., Lesnyak E. A. the Use of pumpkin in the technology of low-calorie cheese dessert. International scientific and technical conference (in absentia) "Innovation technologies in food industry: science, education and production" [Electronic resource]: a collection of materials, December 3-4, 2013 / Voronezh. state University of engineering technologies, UGUET, 2013. –p. 455.

2. Klyuchnikova D. V., Galkin A. S. Ginger root in technology of whey drink / Modern high technologies, 2014, No. 5-1, p. 11.

3. Klyuchnikova D. V., Ramazanova L. R. non-traditional raw materials in the technology of fermented milk drink // System analysis and simulation of quality management processes in innovative development of agro-industrial complex [Text]: mater. Intern. scientific.-pract. Conf. /Voronezh.state. Univ ing. tekhnol. –Voronezh.: UGUET, 2015. –p. 430-433.

4. Klyuchnikova D. V., Ismailova A. I., the Use of alternative raw materials in the technology of cheese products // System analysis and simulation of quality management processes in innovative development of agro-industrial complex [Text]: proc. Intern. scientific.-practical. Conf. /Voronezh.state. University ing. Indus. –Voronezh.: UGUET, 2015. –p. 427-430.

5. Klyuchnikova D. V. Functional cheese product // international research journal. 2015. No. 3-1 (34). P. 73-74.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.045

Колпахчян П.Г.<sup>1</sup>, Микитинский А.П.<sup>2</sup>, Петров А.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Доктор технических наук, доцент,

Ростовский государственный институт путей сообщения,

<sup>2</sup>кандидат технических наук, доцент,

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ),

<sup>3</sup>доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

#### ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

##### Аннотация

*В статье затронуты проблемы связанные с производством синтетических волокон, главным критерием при производстве которых является качество и стабильность характеристик. Одним из способов сохранения высокого качества нити является продления срока службы дозирующих шестеренчатых насосов. Решением этой проблемы может стать переход от группового управления насосами к индивидуальному приводу каждого насоса на базе тихоходной электрической машины, а так же непрерывному контролю качества нити. Таким образом, за счет индивидуального регулирования частоты вращения насоса планируется в 2 раза продлить ресурс его работы и добиться повышения качества нити.*

**Ключевые слова:** синтетические нити, шестеренчатые насосы, индивидуальный привод, непрерывный контроль качества.

Kolpakchyan P.G.<sup>1</sup>, Mikitinskij A.P.<sup>2</sup>, Petrov A.A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, Associate professor,

Rostov State Transport University,

<sup>2</sup>PhD in Engineering, Associate professor,

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),

<sup>3</sup>Associate professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)

#### WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF AT THE PRODUCTION OF SYNTHETIC FIBERS

##### Abstract

*The article discussed the problems associated with the production of synthetic fibers, the main criterion the production of which is the quality and stability characteristics. One way to save high quality thread is extend the life of metering gear pumps. The solution to this problem is to move from group control individual pumps to drive each pump on the basis of low-speed electric cars, as well as continuous monitoring of the quality thread. Thus, due to individual adjustment of the pump speed is planned in two times extend its service life and to achieve improvement of quality yarns.*

**Keywords:** synthetic thread, gear pumps, individual drive, continuous quality control.

**В** настоящее время ведется активное развитие техники, связанное с поиском новых конструкционных материалов, отличающихся от используемых улучшенными характеристиками и свойствами. Применение композитных материалов для формообразования конструкций, одно из подобного рода решений. Большой выбор синтетических волокон, и способов армирования, применяемых при создании композитных конструкций, дает

возможность направленно регулировать прочность, жесткость, уровень рабочих температур и прочих свойств путем подбора изменения соотношения компонентов и макроструктуры композита [1].

Предприятия выпускает синтетические высокомолекулярные нити СВМ для производства различных материалов: композиционных материалов, кабельной продукции, резинотехнических изделий, термостойкой защитной одежды и т.д.

Для производства нити используют машины непрерывного производства волокна, в которых для подачи прядильного раствора применяются достаточно дорогостоящие шестеренчатые насосы. На машине одновременно наматывается до 36 нитей состоящих из множества элементарных волокон, поэтому для производства необходима параллельная работа нескольких шестеренчатых насосов, работающих от одного привода при заданной скорости.

Показатель качества нити определяется стабильностью характеристик насоса. В процессе работы и по мере изнашивания характеристики насосов изменяются индивидуально, тем самым разброс характеристик отдельных нитей нарастает.

Регулярная замена шестеренчатых насосов, наладка и запуск технологического процесса связана со значительными финансовыми затратами и простоями оборудования. Поэтому актуальной является проблема, связанная с сохранением высокого качества нити путем увеличением срока службы дозирующих шестеренчатых насосов.

Одним из возможных решений этой проблемы является переход от группового к индивидуальному приводу на базе тихоходной электрической машины [2], способной работать в тяжелых условиях, а так же непрерывному контролю качества нити. За счет индивидуального регулирования частоты вращения насоса планируется в 2 раза продлить ресурс его работы и добиться повышения качества нити.

В статье также рассмотрены возможные способы контроля качества нити на прядильных машинах, используемых для производства нитей из химического волокна.

**Текстильные нити чаще всего изготавливаются с прямоугольным поперечным сечением**, которое характеризуется линейными размерами. Косвенной характеристикой нити является линейная плотность. На практике пользуются в основном косвенной характеристикой, прямые характеристики применяют реже вследствие сложности их определения.

В настоящее время качество нити на предприятии определяется в лабораторных условиях. Линейная плотность нити измеряется в тексах (г/км). Этот параметр в соответствии с ГОСТ 10878-70 (СТ СЭВ 2671-80) [3] определяет массу одного километра нити:

$$T = \frac{M}{L}$$

где  $M$  - масса, г;  $L$  - длина, км.

Существуют следующие методы, средства и устройства **определения толщины и линейной плотности текстильных нитей**, применяемые для контроля пряжи и нитей в лабораторных условиях на отечественных предприятиях и за рубежом. [4].

В ЛатНИИЛП для определения диаметра пряжи создан автоматизированный прибор ПОД-1, основанный на фотоэлектрическом принципе. Прибор дает возможность сократить в 10-20 раз время на проведение испытаний по сравнению с традиционными способами. Так, продолжительность испытаний для 5 ед. продукции с использованием ПОД-1 составляет 20 мин, на микроскопе – 200 мин, с применением микрофота – 420 мин.

Прибор может быть использован в качестве составной части комплекса для определения линейной плотности текстильных нитей регламентированный методом по ГОСТ 6611.1-73 [5]. Сущность метода заключается в отматывании нити определенной длины в виде пасмы или отрезка и определении ее массы.

Для отматывания нити заданной длины применяют мотовила с параметром 1000±2 мм. Для этой цели могут быть использованы мотовила типа МПА-1М (СССР), а также моделей FY-14B, FY-30, FY-38 (ВНР) и др., у которых погрешность периметра кроны соответствует установленной в стандарте.

Для определения фактической линейной плотности или результирующей фактической линейной плотности нити все пасмы или отрезки нитей взвешивают вместе, после чего вычисляют по формуле:

$$T_{\Phi} = \frac{1000 \times D_m}{l \times n} \text{ или } T_{R\Phi} = \frac{1000 \times D_m}{l \times n}$$

где  $D_m$  - общая масса пасм или отрезков (г);  $l$  - длина нити в пасме или длина отрезка (м);  $n$  - число пасм или отрезков.

Для взвешивания применяют лабораторные весы (ГОСТ 24104-88) [6] весы торсионные, квадранты весовые и др., имеющие погрешности взвешивания не более указанной в стандарте.

Зарубежные фирмы Sartorius (ФРГ) [7], Mettler (Швейцария) [8] и другие практически полностью перешли на выпуск комплектов, состоящих из электронных лабораторных весов, микропроцессорных систем с широким набором унифицированного периферийного оборудования, а также комплекса приспособлений и насадок для выполнения всевозможных анализов.

В Великобритании фирмой Heals Electronics Ltd [9] создан прибор Betacount, предназначенный для определения линейной плотности ленты, ровницы и пряжи. Прибор позволяет определять линейную плотность в тексах. Он имеет чашу весов, на которую укладывается испытуемый образец заданной длины. Погрешность измерения не более 0,5%. Результат может быть напечатан на ленте печатающим устройством, которым снабжен прибор. Масса прибора 7,25 кг, габарит 142x373x415 мм.

С точки зрения стабильности работы и точности получаемых результатов заслуживает внимания прибор Uster Tester II модели В и Uster Tester 5 фирмы Zellweger Uster (Швейцария) [10], основанный на емкостном принципе измерения. С использованием прибора для определения неравномерности пряжи и нитей по линейной плотности затрачиваемое время сокращается в 5 раз по сравнению с весовым методом.

Но представленные выше методы и приборы, в большинстве своем, предназначены для контроля линейной плотности готового продукта (волокна) в лабораторных условиях. Наибольший интерес представляют системы, позволяющие в ходе технологического процесса контролировать, и соответственно управлять, линейной плотностью волокна.

К недостаткам данных приборов стоит отнести их высокую стоимость и большие габариты, необходимость доработки в части передачи информации в цифровом виде на управляющий процессор привода насоса. Всё это определяет необходимость разработки новой измерительной системы, малой стоимости и габаритов, адаптированной к требованиям электропривода насоса.

Необходимо отметить, что процесс производства нити достаточно длительный по времени. Схема прядельной машины приведена на рис. 1.

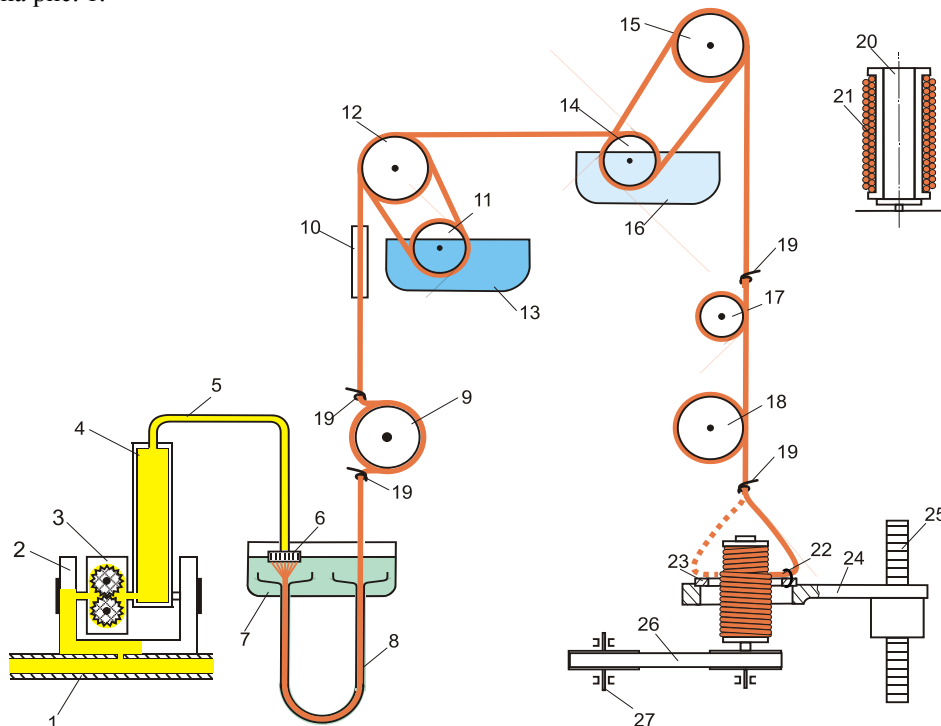


Рис. 1 – Схема прядельной машины ПН-300-В2М:

1-6 - прядельные элементы; 7, 8, 13, 16 - элементы формирования;  
9, 11, 12, 14, 15, 18 - вытяжные и сушильные механизмы; 23 - 25 - приемные элементы.

Раствор по трубопроводу 1 поступает на дозирующий насос 3. После фильеры 6 образуется жгутик, который проходит ряд технологических операций и наматывается на копсу. Копса приводится во вращение электродвигателем через ременную передачу 26, 27. Сушка нити осуществляется на сушильном валу 18. Вал нагревается паром.

Для контроля линейной плотности необходимо периодически измерять длину волокна, размещаемого на копсе, и его вес. Одним из способов воздействия на параметры нити это изменение подачи раствора путем регулировки оборотов дозирующего насоса. Функциональная схема системы автоматического управления дозирующим насосом прядельной машины, реализующая данный алгоритм, показана на рис. 2.

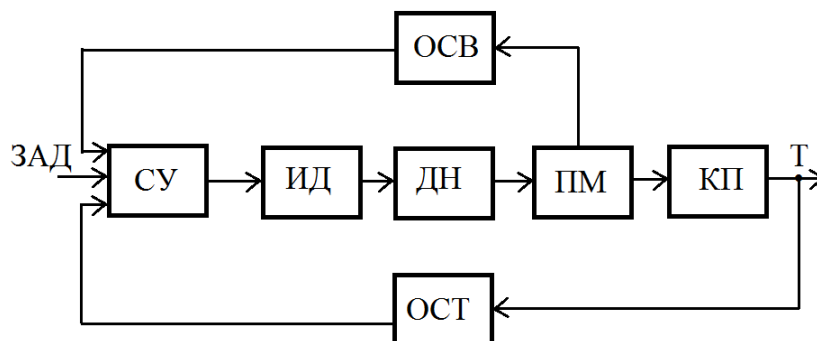


Рис. 2 – Функциональная схема системы автоматического управления дозирующим насосом

На рисунке обозначено:

- СУ - система управления, включающая в себя регуляторы основных технологических параметров и элементы управления электродвигателем;
- ИД - исполнительный двигатель, вращающий насос;
- ДН - дозирующий насос;

- ПМ - прядильная машина;
- КП - копса с намотанным материалом;
- ОСТ - датчик основного технологического параметра (тексов);
- ОСВ - датчик влажности материала;
- ЗАД - задание основного технологического параметра;
- Т - основной технологический параметр (текс).

Работает устройство следующим образом. В зависимости от заданного значения и сигналов с датчика система изменяет частоту вращения исполнительного двигателя. Это приводит к увеличению или уменьшению подачи материала на фильеры и соответственно изменению диаметра изготавливаемой нити, следовательно, ее линейной плотности. Сигнал с датчика влажности корректирует работу системы.

Для мгновенного измерения веса волокна, намотанного на данный момент времени на копсу, используется тензодатчик, установленный на поворотном устройстве или оптический датчик, измеряющий диаметр изготавливаемой нити.

Влажность материала (ОСВ) определяется по температуре сушильного барабана 18 (см. рис.1), измеряемой в месте расположения нити.

Для организации контроля и управления на всей линии целесообразно использовать сетевые датчики и счетчики, с собственными IP – адресами, что позволит сократить количество проводов на станке, улучшить помехозащищенность, использовать современные средства контроля и управления.

Управление всей системой осуществляет специализированное устройство, построенное на основе высокоскоростного микроконтроллера, оснащенного базой хранения и системой отображения, управления и документирования.

Подводя итог вышесказанному повысить показатель надежности, работоспособности и качества выпускаемой продукции на прядильной машине возможно путем непрерывного контроля технологических параметров и разработкой тихоходного, автоматизированного, индивидуального, регулируемого электропривода на каждый дозирующий насос. Основными требованиями, предъявляемыми, к выбору типа электропривода являются тихоходность, стабильность характеристик, работа в тяжелых условиях. Данное решение может подойти для улучшения целого ряда подобного типа прядильных машин.

#### Литература

1. Вашуков Ю. А. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композитных материалов [Электронный ресурс] Мультимедийный образовательный модуль / Ю.А. Вашуков Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (Нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. Дан. (3766 Кбайт, печатный аналог 185с.). - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-R).
2. Онищенко Г.Б. Электрический привод. Учебник для вузов – М.: РАСХН. 2003. – 320. ил.
3. ГОСТ 10878-70 Материалы текстильные. Линейная плотность в единицах текс и основной ряд номинальных линейных плотностей. М.: Издательство стандартов, 1988
4. Фролова И.В. Методы и средства контроля качества текстильных волокон, пряжи на предприятиях трикотажной промышленности: Текст лекций. - Иваново: ИГТА, 2001, 41с.
5. ГОСТ 6611.1-73 Нити текстильные. Метод определения линейной плотности. Взамен ГОСТ 6611.2-69 введ.01.01.1976. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1988.
6. ГОСТ 24104-88 «Весы лабораторные общего назначения и образцовые». Взамен ГОСТ 24104-88 введ.01.07.2002. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002.
7. URL <https://www.sartorius.ru/ru/nachalnaja-stranica/>
8. URL <http://ru.mt.com/ru/ru/home.html>
9. URL <http://www.healtech-electronics.com/products/>
10. URL <https://www.uster.com/fileadmin/customer/Instruments/>

#### References

1. Vashukov Ju. A. Tehnologija raketnyh i ajerokosmicheskikh konstrukcij iz kompozitnyh materialov [Jelektronnyj resurs] Mul'timedijnyj obrazovatel'nyj modul' / Ju.A. Vashukov Minobrnauki Rosiii, Samar. gos. ajerokosm. un-t im. S. P. Koroleva (Nac. issled. un-t). - Jelektron. tekstovye i graf. Dan. (3766 Kbajt, pechatnyj analog 185s.). - Samara, 2012. - 1 jel. opt. disk (CD-R).
2. Onishhenko G.B. Jelektricheskij privod. Uchebnik dlja vuzov – M.: RASHN. 2003. – 320. il.
3. GOST 10878-70 Materialy tekstil'nye. Linejnaja plotnost' v edinichah teks i osnovnoj rjad nominal'nyh linejnyh plotnostej. M.: Izdatel'stvo standartov, 1988
4. Frolova I.V. Metody i sredstva kontrolja kachestva tekstil'nyh volokon, prjazhi na predpriyatijah trikotazhnoj promyshlennosti: Tekst lekcij. - Ivanovo: IGTA, 2001, 41s.
5. GOST 6611.1-73 Niti tekstil'nye. Metod opredelenija linejnoj plotnosti. Vzamen GOST 6611.2-69 vved.01.01.1976. M.: IPK Izd-vo standartov, 1988.
6. GOST 24104-88 «Vesy laboratornye obshhego naznachenija i obrazcovye». Vzamen GOST 24104-88 vved.01.07.2002. M.: IPK Izd-vo standartov, 2002.
7. URL <https://www.sartorius.ru/ru/nachalnaja-stranica/>
8. URL <http://ru.mt.com/ru/ru/home.html>
9. URL <http://www.healtech-electronics.com/products/>
10. URL <https://www.uster.com/fileadmin/customer/Instruments/>

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.059

Копцова Е.А.<sup>1</sup>, Яковина И.Н.<sup>2</sup>, Стасhevский П.С.<sup>3</sup><sup>1</sup>Магистрант,<sup>2,3</sup>кандидат технических наук,

Новосибирский государственный технический университет

**МНОГОАГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ СПОРТИВНОГО ЦЕНТРА****Аннотация**

*В статье описывается разработка и исследование свойств многоагентной модели многофункциональной системы безопасности спортивного центра с использованием среды NetLogo. Приводятся результаты экспериментов с моделью - выявленные уязвимости и оптимальные условия эксплуатации объекта: режим загрузки персонала, необходимость введения дополнительных средств обеспечения безопасности и их расположение на объекте.*

**Ключевые слова:** интегрированная система безопасности, многоагентная модель, агент.

Koptsova E.A.<sup>1</sup>, Yakovina I.N.<sup>2</sup>, Stashevsky P.S.<sup>3</sup><sup>1</sup>Master student,<sup>2,3</sup>PhD in Engineering,

Novosibirsk State Technical University

**MULTIAGENT MODEL OF SPORTS CENTER SECURITY****Abstract**

*The article describes the development and analyze properties of multi-agent model of a multifunctional sports center security system using NetLogo environment. The results of experiments with the model are identified vulnerabilities and optimal conditions for operation of the facility: staff boot mode, necessity of additional security tools and their location on the subject.*

**Keywords:** integrated security system, multi-agent model, agent.

**Введение**

Обеспечение безопасности является одной из самых актуальных проблем современности. Разработка и внедрение комплексных систем безопасности (КСБ) выполняется для различных типов объектов и должно учитывать разнообразные режимы их функционирования. Одним из важнейших этапов построения комплексной системы безопасности является проектирование, в ходе которого происходит выбор технических решений, оптимальных средств и методов функционирования КСБ, уточнение степени интеграции компонентов системы и способов их взаимодействия [1]. Повысить эффективность процесса проектирования позволяют различные методы и средства моделирования КСБ с учетом режимов функционирования объекта. На текущий момент наиболее популярными являются: математическое, логико-вероятностное и имитационное моделирование [2, 3, 4].

В данной работе используется многоагентный подход к разработке модели комплексной системы безопасности спортивного центра. Этот метод нашел широкое применение прежде всего для экономических систем, для систем безопасности такие примеры единичны [5]. В рамках моделирования системы безопасности спортивного центра решались следующие задачи:

1. Описание физической модели объекта;
2. Разработка многоагентной модели безопасности спортивного центра;
3. Тестирование модели для различных режимах работы.

**Разработка модели**

В ходе работы было проведено исследование функционирования реального объекта. На рисунке 1 соответственно показан режим работы спортивного центра в будни (А) и выходные (Б, пунктиром показаны праздничные дни) в течение двух месяцев. В будние дни пик посещаемости приходится на вечернее время, тогда как в выходные и праздничные дни посещаемость более равномерна и в среднем превышает загруженность спортивного центра в будни.

Информация о загруженности была учтена при проектировании взаимодействия агентов в модели и тестировании различных режимах работы объекта. Разработанная модель учитывает три типа агентов, участвующих в функционировании центра:

- А1 - сотрудники персонала (агенты безопасности);
- А2 - постоянные посетители (агенты, не представляющие угрозы);
- А3 - новые посетители (агенты, представляющие потенциальную угрозу).



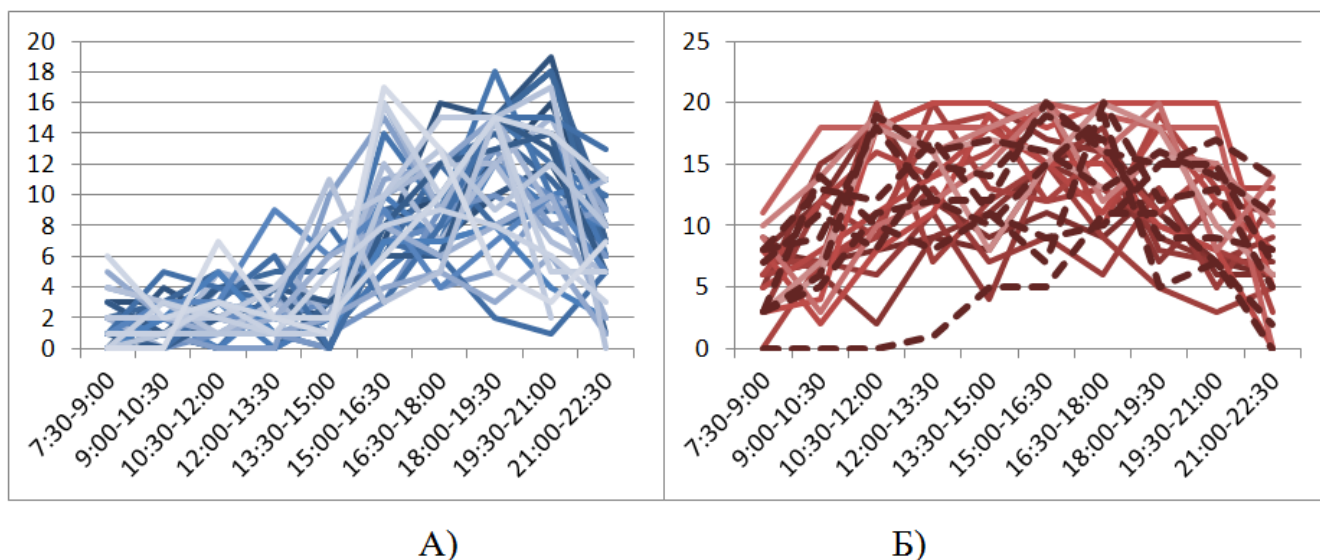


Рис. 1 – Режим функционирования объекта А) в будни, б) в выходные и праздничные дни

Также в модели присутствует пассивный тип агентов - объекты окружающей среды  $A_4$  (расположение локации в пространстве), в рамках которой взаимодействуют остальные агенты. Во время работы модели количество сотрудников ( $A_1$ ) является постоянным (строго фиксированное значение, не изменяющееся в рамках одного эксперимента), количество посетителей ( $A_2$  и  $A_3$ ) является случайной величиной, рассчитанной в зависимости от режима работы объекта.

Расположение агентов определяется параметрами среды, в которой они находятся. Конфигурация объектов среды может быть различной, в зависимости от того, модель какого реального объекта рассматривается. В работе используется способ построения абстрактной модели спортивного центра с разделением всей области моделирования на несколько локаций.

В рамках модели реализованы следующие связи между агентами:

1) Сотрудник персонала  $A_1$  (агент безопасности) может быть связан с  $N$  новыми посетителями  $A_3$  (агентами, представляющими потенциальную угрозу). Другими словами сотрудник персонала одновременно может наблюдать за фиксированным числом новых посетителей, находящихся в той же локации, что и он.

2) Постоянный посетитель  $A_2$  может быть подобным образом связан с новыми посетителями  $A_3$ , но с меньшим соотношением, например, 1:1. Такое построение связей описывает действительный процесс взаимодействия людей в рамках спортивного центра.

Для разработанной модели исходными данными будут являться:

- $I_1$  - Максимальное количество посетителей;
- $I_2$  - Количество агентов  $A_1$ ;
- $I_3$  - Количество агентов  $A_4$ ;
- $I_4$  - План-схема (карта) объекта;
- $I_5$  - Режимы работы (связи персонал-посетитель, посетитель-посетитель, посетитель-зона; время пребывания агента в модели, тип дня: выходной день/праздничный день/будний день).

Промежуточными данными будут являться:

- $O_1$  - Место расположения уязвимых зон;
- $O_2$  - Количество потенциально опасных посетителей, оставшихся не отслеженными;
- $O_3$  - Средний показатель отношения числа постоянных посетителей к потенциально опасным.

Выходными данными будут являться:

- $Y_1$  - Место расположения дополнительных средств защиты (основано на местах расположения уязвимых зон);
- $Y_2$  - Оптимальное количество сотрудников и рекомендуемый график работы персонала.

Работа с моделью осуществляется по принципу черного ящика, с указанием входных параметров и измерением выходных характеристик, которые в дальнейшем используются для оценки степени защищенности объекта.

### Результаты экспериментов

Тестовая модель была разработана для спортивного центра, который состоит из пяти зон  $A_4$ : ресепшин, раздевалки, зона разминки, зона батута 1, зона батута 2. При моделировании одного рабочего дня (продолжительность рабочей смены для данного объекта – 15 часов или 900 минут) отсчеты времени были приняты равные 5 минутам, количество отсчетов - 180.

Для анализа эффективности функционирования системы был проведен ряд экспериментов, отличающийся максимальным числом посетителей  $A_2$  и  $A_3$  – 20 и 40 человек, числом сотрудников  $A_1$  – 3, 6 и 9 человек. Учитывались связи сотрудник-посетитель (1:3) и посетитель-посетитель (1:1).

На рисунке 2 показан результат моделирования для эксперимента с количеством посетителей - 40 человек, количеством сотрудников - 3 человека. На черном графике изображено общее количество посетителей, на красном - количество посетителей, которые пришли впервые, на синем - число посетителей, оставшихся без присмотра.

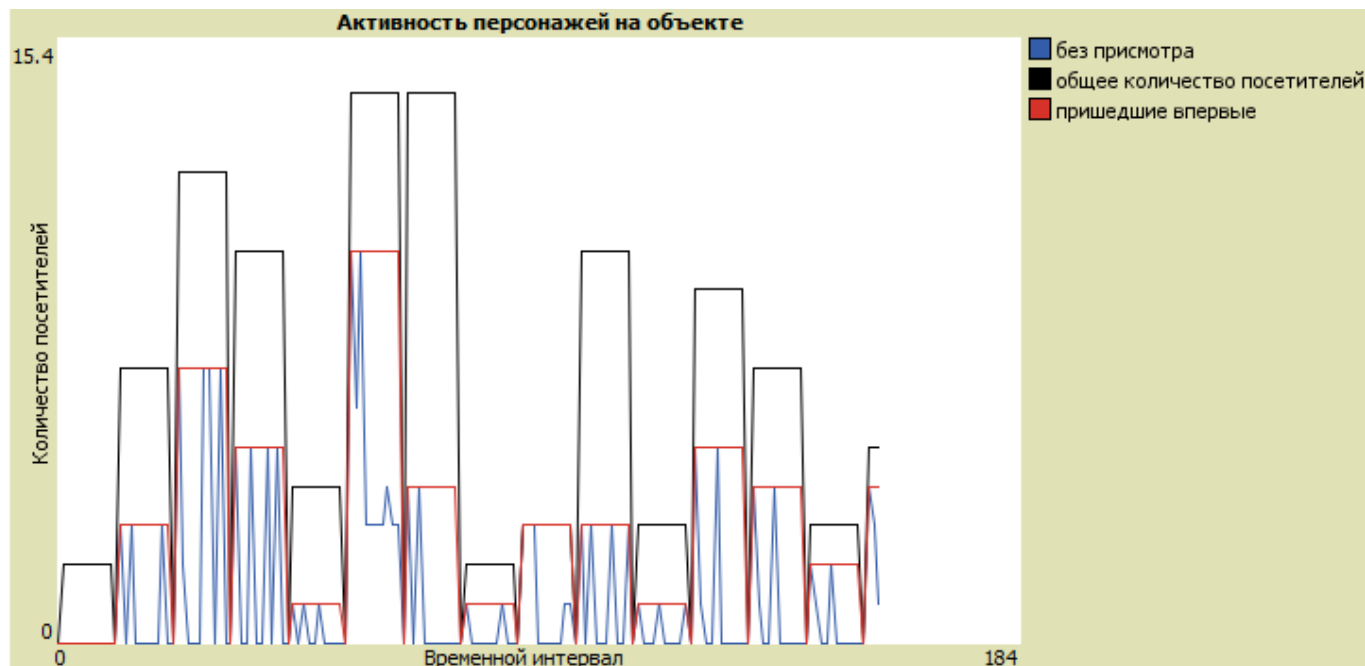


Рис. 2 – График моделирования функционирования объекта

График показывает, что в рамках рабочей имеют временные интервалы, когда некоторое количество посетителей остается без присмотра. Для определения дополнительного уровня защиты были проведен анализ уязвимых зон в различных локациях. Для этого были рассчитаны максимальные разности числа посетителей в этой зоне и числа посетителей, оставшихся без присмотра (таблица 1) и количество таких случаев.

Таблица 1 – Активность в разных зонах объекта

Локация	Кол-во пиков	Макс. разность
Ресепшн	4	9
Раздевалки	5	8
Зона разминки	1	2
Батут 1	1	2
Батут 2	2	3

Проанализировав результаты, можно сделать вывод о том, что при таких начальных условиях в большей степени нуждаются в дополнительных средствах защиты следующие зоны: ресепшн и раздевалки, так как именно в этих зонах наибольшее количество пиков. Такая ситуация очевидна, так как ни персонала, ни каких-либо других агентов защиты в этих зонах нет, и связь существует только между агентами посетителями. Кроме того, можно определить оптимальные условия эксплуатации для данной модели: количество штатных сотрудников A1 – 4 человека, количество постоянных посетителей A2 - 24-28 человек, количество новых посетителей A3 - 10-12 человек.

### Результаты

В работе была спроектирована модель, описывающая спортивный центр с несколькими различными типами зон и несколькими типами агентов, которая позволяет: рассчитывать режим загрузки и необходимое количество персонала и определять расположение дополнительных средств обеспечения безопасности.

Полученную модель можно использовать для проектирования системы мониторинга состояния охраняемого объекта и для оценки уязвимости существующей КСБ в случае изменения режима работы объекта.

### Литература

1. Арифиллин Е.З., Калач А.В. Методы математического моделирования систем обеспечения комплексной безопасности объектов ГТС // Комплексные проблемы техносферной безопасности. – 2014. – Сборник №1.
2. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы (обзор). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://spkurdyumov.ru/networks/mnogoagentnye-sistemy-obzor/4/>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Панин О.А. Анализ эффективности интегрированных систем безопасности: принципы, критерии, методы // Системы безопасности. – 2006. – Журнал №2
4. Рыжова В.А. Проектирование и исследование комплексных систем безопасности. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 157 с.
5. Чекинов Г.П., Чекинов С.Г. Применение технологии многоагентных систем для интеллектуальной поддержки принятия решений (ИППР) // Сетевой электронный научный журнал "Системотехника". – 2003. - № 1.

### References

1. Arifullina E., Kalach A. Methods of mathematical modeling of complex systems to ensure the safety of GTS objects // Complex problems technospheric security. - 2014. - №1.

2. Gorodetsky V., Grushinskiy M., Khabalov A. Multi-agent systems (review). [Electronic resource]. - Access: <http://spkurdyumov.ru/networks/mnogoagentnye-sistemy-obzor/4/>, free. - Caps. screen.
3. Panin O. Analysis of the effectiveness of integrated safety systems: principles, criteria, methods // Security Systems. - 2006 - №2
4. Ryzhov V. Design and research of integrated security systems. - SPb: ITMO, 2012. - 157 p.
5. Chekina G., Chekina S. Application of the technology of multi-agent systems for intelligent decision support (IPPR) // "Systems Engineering" Power electronic scientific journal. - 2003. - № 1.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.027

Курчаткин И.В.<sup>1</sup>, Горшкалев А.А.<sup>2</sup>, Цапкова А.Б.<sup>3</sup><sup>1</sup>Студент,<sup>2,3</sup>аспирант,

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева  
**РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ  
 В ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

**Аннотация**

*В статье представлена разработанная методика моделирования рабочих процессов в камере сгорания (КС) двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Методика включает описание подготовки трехмерной модели КС ДВС, наложение конечно-элементной сетки, задание граничных условий и настройку решения. Апробация проводилась на КС авиационного звездообразного двигателя М-14. Был произведен цикл расчетов холодной продувки ДВС в программном комплексе ANSYS IC Engine, произведено сравнение полученных данных. Предложен вариант улучшения впускного канала двигателя.*

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, камера сгорания, моделирование процессов.

Kurchatkin I.V.<sup>1</sup>, Tsapkova A.B.<sup>2</sup>, Gorshkalev A.A.<sup>3</sup><sup>1</sup>Student,<sup>2,3</sup>postgraduate student,

Samara University

**DEVELOPMENT AND TESTING TECHNIQUE OF MODELING OF WORKING PROCESSES IN INTERNAL  
 COMBUSTION ENGINES**

**Abstract**

*The paper presents the developed method of modeling workflows in the combustion chamber (CC) of the internal combustion engine (ICE). The methodology includes a description of the preparation of three-dimensional model of the COP ICE, application of finite element mesh, boundary conditions, and job setting solutions. Testing was conducted at COP aircraft radial engine M-14. Cycle calculations ICE cold purge was performed in the software package ANSYS IC Engine, a comparison of the data. A variant of the engine to improve the intake channel.*

**Keywords:** internal combustion engine, combustion chamber, process modeling.

В статьях [1-7] ранее были рассмотрены вопросы моделирования рабочих процессов в ДВС. Отдельно внимание уделялось особенностям построения трехмерной модели КС ДВС [1] и решению вопросов создания конечно-элементной сетки в КС ДВС для динамического расчета рабочих процессов [2]. Для подготовки трехмерной модели КС ДВС к моделированию процессов, протекающих в ней в приложении Fluent, необходимо было затратить значительное количество времени, так как все настройки и операции производились вручную. Их можно разделить на три основных этапа.

На первом этапе производилось построение головки блока цилиндра (ГБЦ) для одного цилиндра с впускными и выпускными каналами, а также впускными и выпускными клапанами в графическом редакторе SolidWorks. Далее после экспорта модели в Ansys Gambit, с помощью булевых операций получается камера сгорания с впускными и выпускными каналами и вырезанными впускными и выпускными клапанами. В Ansys Gambit модель была рассечена с помощью созданных вспомогательных поверхностей на 16 объемов, согласно разработанной схеме. Далее были заданы условия проницаемости (Interfaces) соприкасающихся поверхностей между объемами. Были заданы граничные условия давления на входе (Pressure\_inlet) во впускном канале и давления на выходе (Pressure\_outlet) из выпускного канала. Целью данных операций являлась подготовка модели ко второму этапу. Созданные объемы дают возможность в зонах движения клапана создать динамическую прямоугольную сетку с методом движения – «расслоение» (Layering), и тетрагональную сетку с перестроением (Remeshing) при движении [1].

Вторым этапом разделе построения конечноэлементной сетки в Ansys Gambit, в каждом разделенном надвое объеме на поверхностях соединяющих половины, накладывается сетка. В цилиндрических объемах строится четырехугольная сетка (Quad) с размером ячеек 0,5 мм с типом построения Pave. В поверхностях кольцевого объема с профилем трапеции и параллелограмма накладывается сетка с размером ячеек 0,3 мм и типом построения Map. Размер выбирается с учетом того, что данные объемы соприкасаются между собой и содержат в себе область щели клапана, поэтому в данном месте для корректного расчета в ANSYS Fluent необходима уменьшенная сетка. Тип Map выбирается в связи с формой объемов, так как позволяет получить оптимальные по форме ячейки на поверхностях. Используя инструмент Cooper и наложенную сетку на поверхностях в качестве источника, создается сетка с размером элемента 1мм [2].

В объеме камеры сгорания накладывается треугольная сетка с размером ячейки равным 2 мм, достаточным для газодинамического расчета в первом приближении. Во впускном и выпускном каналах накладывается треугольная сетка с размером ячейки равным 2 мм, так данные области статичны и не требовательны к малым размерам ячеек. В надпоршневом объеме создана конечно-элементная сетка с ячейками в форме призмы. Конечно-элементная сетка, выполненная данным образом позволит получить высокие результаты газодинамического и теплового расчета основных параметров в поршневом двигателе [2].

Третьим этапом идет задание граничных условий, включая привязку подвижным границам уравнений движений, подробно описанное в [3-7].

IC Engine – специальная система анализа для моделирования процессов в КС ДВС в приложении Fluent с упрощенной процедурой подготовки трехмерной модели КС с частью впускного и выпускного каналов. Данная система позволит значительно сократить время на подготовку трехмерной модели, за счет того, что все пункты выполняются в полуавтоматическом режиме, кроме задания граничных условий, данный пункт упрощен тем, что все необходимые настройки, вынесены в отдельное окно.

В начале в программе задается радиус коленчатого вала, длина шатуна, смещение оси вращения коленчатого относительно оси цилиндра, минимальный зазор между седлом и клапаном. Программа автоматически создает уравнение движения поршня, основываясь на введенных данных. Так же загружаются уравнения движения клапанов.

Далее в Design Modeler загружается трехмерная модель, состоящая из единой модели внутреннего объема КС с частью впускного и выпускного каналов и двух отдельных моделей впускного и выпускного клапанов. На которой указываются поверхности впускного и выпускного каналов, поверхность цилиндра, указываются впускной и выпускной клапан, их седла и привязываются уравнения их движения. Так же можно выбрать определенный угол поворота коленчатого вала (КВ) с которого будет начат расчет, он может быть задан или выбран из предложенных программой вариантов.

В данной программе КС с частью впускного и выпускного каналов будет разбита на 21 объем: по 9 объемов впускной и выпускной каналы и КС на три объема (рисунок 1), два из которых (надпоршневая зона и верхняя часть КС) в дальнейшем разбиваются сеткой с конечными элементами в виде тетраэдров, а объем между ними сеткой с элементами, имеющими форму треугольной призмы. Это необходимо для того, чтобы во время расчета элементы вокруг клапанов перестраивались, а при движении поршня происходило послойное деление сетки. Если при нахождении днища поршня в ВМТ стенка цилиндра остается небольшой высоты, программа с большой долей вероятности не сможет автоматически разбить КС на три объема. В этом случае требуется указать две плоскости, по которым будет разбита КС.

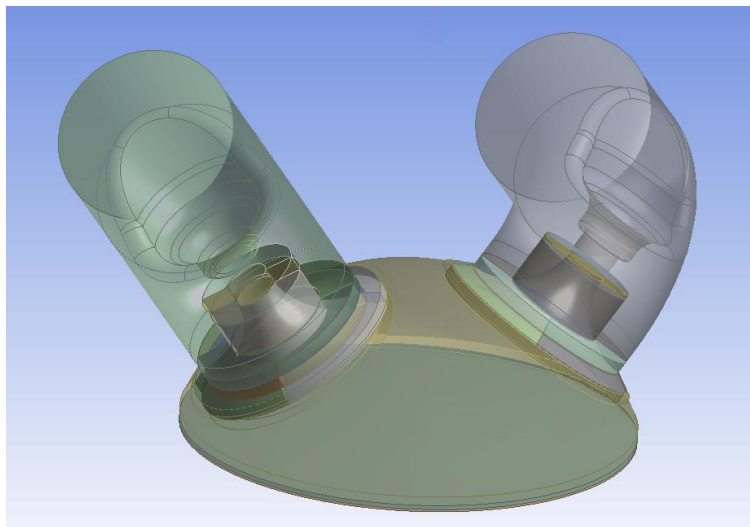


Рис. 1 – КС разбитая на различные объемы

Перед запуском разделения данной модели на объемы для проверки корректности заданных настроек запускается просмотр анимации движения днища поршня и клапанов. После того как все задано программа разбивает данную модель на объемы, в каждом из которых при открытии данной модели в программе Ansys Meshing задаются определенные настройки сетки, оптимальные для данной не стационарной задачи.

Существует три стандартных режима разбиения на конечные элементы (КЭ) модели: грубый, средний и точный. Они выбираются при запуске автоматической настройки сетки. Данные настройки параметризованы относительно диаметра клапана. Если стандартные настройки не подходят, есть возможность поменять, как общие настройки, так отдельно для любого элемента полученного в результате разделения.

Данная программа позволяет визуально проверить, как данная модель разбилась на конечные элементы, например, в плоскости симметрии клапанов (рисунок 2), созданной автоматически или любой другой плоскости, созданной пользователем.



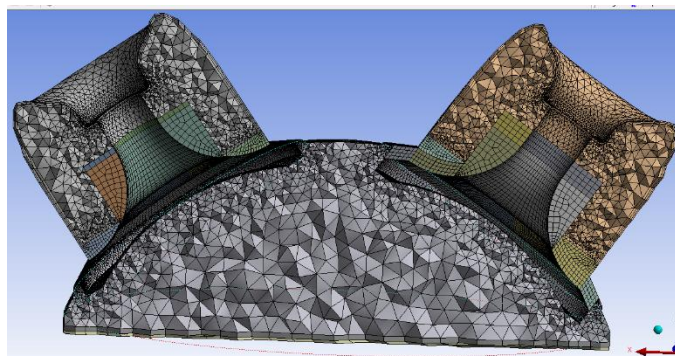


Рис. 2 – Сеточная модель в плоскости симметрии клапанов

После создание сетки, следует настройка параметров расчета. В данной системе все требуемые для расчета настройки вынесены из программы Fluent, и сделаны отдельным пунктом. Последним этапом является загрузка модели во Fluent. В нем остается просто запустить расчет.

Проведенный расчет показал несовершенство впускного канала исследуемого двигателя. За счет небольшого радиуса поворота канала возникала область закрученного потока, которая расход ТВС через канал. Для устранения этого недостатка была изменена геометрия впускного канала и проведен новый расчет. Результаты расчета до модернизации (слева) и после (справа) приведены на рисунке 3.

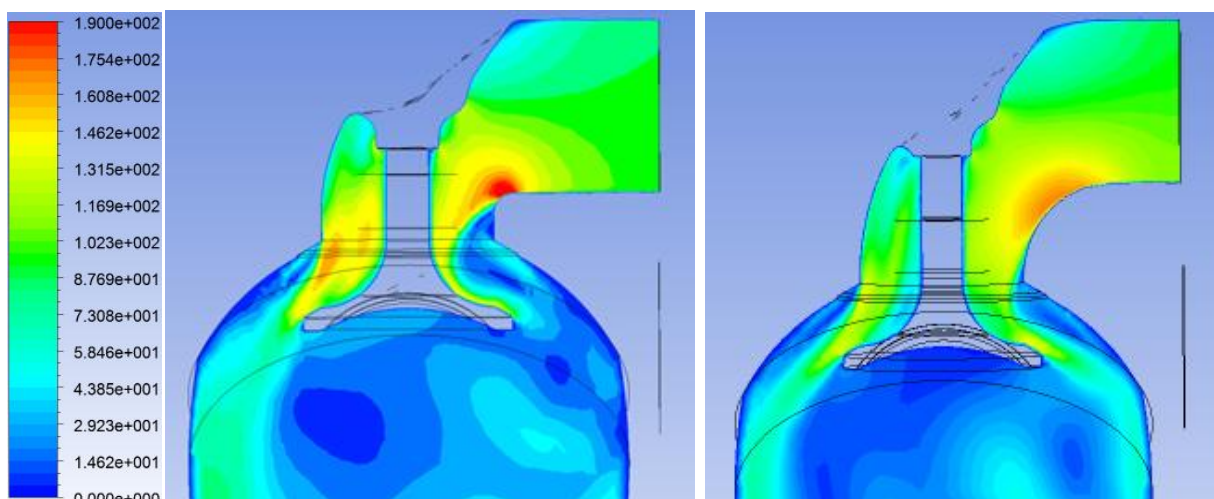


Рис. 3 – Поле распределения скорости в сечении впускного клапана

После проведения цикла расчетов холодной продувки ДВС с помощью программном комплексе ANSYS IC Engine и сравнения полученных результатов можно сделать вывод о том, что предложенный вариант улучшения впускного канала двигателя позволяет увеличить расход ТВС через канал. Коэффициент наполнения при этом вырос на 5%, что положительно повлияет на характеристики двигателя.

#### Литература

1. Бирюк В.В. Особенности построения трехмерной модели камеры сгорания ДВС для динамического расчета тепловых процессов с помощью ANSYS FLUENT/ В.В. Бирюк, Д.А. Угланов, А.А. Горшкалев, С.С. Каюков// Самолетостроение России. Проблемы и перспективы, Самара, СГАУ. - 2012. - С. 79-80
2. Бирюк В.В. Решение проблемы создания конечно-элементной сетки в трехмерной модели камеры сгорания ДВС для динамического расчета рабочих процессов/ В.В. Бирюк, Д.А. Угланов, А.А. Горшкалев, С.С. Каюков// Самолетостроение России. Проблемы и перспективы, Самара, СГАУ. - 2012. - С. 81-82
3. Бирюк В.В. Основные результаты использования CAD/CAE систем в процессе проектирования и расчета рабочих процессов двигателя внутреннего сгорания процессов/ В.В. Бирюк, Д.А. Угланов, А.А. Горшкалев, С.С. Каюков// Вестник СГАУ. - 2012. - №3. -Ч. 3. - С. 126-131
4. Бирюк В.В. Построение и расчёт трёхмерной модели камеры сгорания двигателя внутреннего сгорания для динамического расчёта тепловых процессов/ В.В. Бирюк, Д.А. Угланов, А.А. Горшкалев, С.С. Каюков// Вестник СГАУ. - 2012. - №5. -Ч. 1. - С. 143-148
5. Горшкалев А.А. Опыт использования CAE-CAD систем при проектировании двигателя внутреннего сгорания/ А.А. Горшкалев, А.В. Кривцов, Е.А. Сайгаков, Д.В. Сморгалов, Д.А. Угланов// Вестник СГАУ. - 2011. - №3. -Ч. 4. - С. 177-182
6. Лукачев С.В. Использование Ansys Fluent для исследования газодинамических и тепловых процессов в малоразмерном двухтактном ДВС/ С.В. Лукачев, В.В. Бирюк, А.А. Горшкалев// Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2014. - № 12. - С. 416-425
7. Biryuk V.V. Gas-Dynamic Analysis of Processes in a Small-Sizes Two-Stroke Combustion Engine/ V.V. Biryuk, A.A. Gorshkalev, S.S. Kayukov, D.A. Uglanov// The Open Mechanical Engineering Journal. - 2014. № 8. - P. 441-444

## References

1. Biryuk V.V. Osobennosti postroeniya trehmernoj modeli kamery sgoraniya DVS dlja dinamicheskogo rascheta teplovyh processov s pomoshh'ju ANSYS FLUENT/ V.V. Biryuk, D.A. Uglanov, A.A. Gorshkalev, S.S. Kajukov// Samoletostroenie Rossii. Problemy i perspektivy, Samara, SGAU. -2012. - S.79-80
2. Biryuk V.V. Reshenie problemy sozdaniya konechno-jelementnoj setki v trehmernoj modeli kamery sgoraniya DVS dlja dinamicheskogo rascheta rabochih processov/ V.V. Biryuk, D.A. Uglanov, A.A. Gorshkalev, S.S. Kajukov// Samoletostroenie Rossii. Problemy i perspektivy, Samara, SGAU. -2012. -S. 81-82
3. Biryuk V.V. Osnovnye rezul'taty ispol'zovaniya CAD/SAE sistem v processe proektirovaniya i rascheta rabochih processov dvigatelja vnutrennego sgoraniya processov/ V.V. Biryuk, D.A. Uglanov, A.A. Gorshkalev, S.S. Kajukov// Vestnik SGAU. - 2012. - №3. –Ch. 3. - S. 126-131
4. Biryuk V.V. Postroenie i raschjot trjohmernoj modeli kamery sgoraniya dvigatelja vnutrennego sgoraniya dlja dinamicheskogo raschjota teplovyh processov/ V.V. Biryuk, D.A. Uglanov, A.A. Gorshkalev, S.S. Kajukov// Vestnik SGAU. - 2012. - №5. –Ch. 1. - S. 143-148
5. Gorshkalev A.A. Opyt ispol'zovaniya CAE-CAD sistem pri proektirvanii dvigatelja vnutrennego sgoraniya/ A.A. Gorshkalev, A.V. Krivcov, E.A. Sajgakov, D.V. Smorkalov, D.A. Uglanov// Vestnik SGAU. -2011. -№3. –Ch. 4. -S. 177-182
6. Lukachev S.V. Ispol'zovanie Ansys Fluent dlja issledovaniya gazodinamicheskikh i teplovyh processov v malorazmernom dvuhtaktnom DVS/ S.V. Lukachev, V.V. Biryuk, A.A. Gorshkalev// Nauka i Obrazovanie. MGTU im. N.Ie. Bauman. - 2014. - № 12. - S. 416-425
7. Biryuk V.V. Gas-Dynamic Analysis of Processes in a Small-Sizes Two-Stroke Combustion Engine/ V.V. Biryuk, A.A. Gorshkalev, S.S. Kayukov, D.A. Uglanov// The Open Mechanical Engineering Journal. - 2014. № 8. - P. 441-444

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.183

Лапшин П.Н.<sup>1</sup>, Лапшин Н.П.<sup>2</sup><sup>1</sup>Доктор технических наук, профессор,

ФГБОУ ВПО Курганской государственной сельскохозяйственной академии им. Т.С. Мальцева;

<sup>2</sup>кандидат технических наук

ФГОУ ВПО Государственный аграрный университет «Северного зауралья»

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ЖАТКИ И ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ

## Аннотация

Статья посвящена изучению причин возникновения интенсивных колебаний жатки и её элементов, и определение пути их устранения. На жатку действуют неуравновешенные силы инерции режущего аппарата, которые приводят к поперечным колебаниям пальцевых брусков, ножевых пластин и поперечины. Надежность жатки кормоуборочного комбайна оказывает большое влияние на производительность и качество уборки зерновых культур. В настоящей работе выбрана расчетная схема и уравнение, называемое уравнение Матье, изогнутой оси поперечины боковин жатки, нагруженной продольной силой  $F \cos \omega t$ .

**Ключевые слова:** амплитуда колебаний, боковины жатки, динамические нагрузки, жатка, комбайн «ДОН-680М», нагружение продольной силой, параметрические колебания, параметрический резонанс, угловая частота колебаний, уравнение Матье, устойчивость системы.

Lapshin P.N.<sup>1</sup>, Lapshin N.P.<sup>2</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering,

Kurgan State Agriculture Academy,

<sup>2</sup>PhD in Engineering,

Agriculture State University «Severnogo Zauralia»

## THE USE OF ANTIRESONANT FLUCTUATIONS IN SEED SORTING TECHNOLOGY AND CLEANING SIEVES OF STUCK GRAINS

## Abstract

The article is devoted to the study of causes of violent movement of the header and its elements and definition of ways of their elimination. The reaping-machine are the unbalanced inertial forces of the cutter bar, which lead to transverse oscillations of the finger bars, knife plates and cross-members. The reliability of the harvesters forage harvesters has a great influence on the productivity and quality of harvesting of crops. In the present work the selected design scheme and the equation, called the Mathieu equation, the curved axis of the crossbars of the sidewalls of the Reaper, loaded longitudinal force  $F \cos \omega t$ .

**Keywords:** amplitude of the oscillations, the sidewall reaper, dynamic loads, reaper, harvester «Don-680M», loading the longitudinal force, parametric oscillation, parametric resonance, angular frequency of the oscillations, Mathieu equation, stability of the system.

**Ж**атка кормоуборочного комбайна – это многотонная упругая система шириной от 5 метров, с помощью шарнирных соединений консольно подвешивается к раме комбайна. Другим концом жатка опирается с помощью башмаков комбайна на почву. Для уменьшения давления на почву жатка снабжена системой уравновешивающих пружин. Жатка кормоуборочного комбайна – это динамическая система, которая состоит из мотовила, режущего аппарата, шнека, наклонного транспортёра, барабана, проставки и битера. Рабочие органы, закреплённые на раме жатки, характеризуются массой, скоростью движения, расположением центров масс и главных осей инерции, жёсткостью конструкции, частотой собственных колебаний и т.д. Силы, воздействующие на жатку,

приводят к изменению зазоров в аппарате резания, увеличением сил сопротивлений, росту динамических нагрузок и вибрации. Жатка комбайна имеет возможность совершать колебания в продольной, поперечной и вертикальной плоскостях под действием неуравновешенных сил инерции поступательно движущихся масс режущего аппарата. Колебания жатки приводят к расшатыванию шарнирных соединений, снижают надежность многочисленных узлов и деталей жатки, передаются на раму комбайна, подвергая ее вибрациям. При установившемся движении амплитуда колебаний жатки равна 3,5 мм, превышающая допустимые значения нормы [1, 4]. На некоторых режимах амплитуда превышает это значение в несколько раз [2, 3]. Поэтому свыше 20% от общих отказов в комбайнах приходится на жатку [3].

**Цель работы.** Изучение причин возникновения интенсивных колебаний жатки и её элементов, и определение пути их устранения приняты следующие допущения.

**Методика и результаты исследования.** Исследования проводились на кормоуборочном комбайне «ДОН-680М». Движение режущего аппарата происходит по закону гармонических колебаний, силами сопротивления движению режущего аппарата – пренебрегаем, колебания жатки идентичны колебаниям поперечины боковин кормоуборочного комбайна «ДОН-680М», поперечина которого представляет собой трубу длиной 5 метров, диаметром 102 мм и толщиной стенки 4 мм. Расчетная схема режущего аппарата приведена на рисунке 1. Уравнение изогнутой оси поперечины боковин жатки, нагруженной продольной силой  $F \cdot \cos \omega t$ , называется уравнения Матье и имеет вид

$$EI \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + y \cdot F \cdot \cos \omega t + M = 0, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости материала поперечины;

$I$  – момент инерции сечения поперечины;

$y$  – прогиб поперечины;

$M$  – изгибающий момент в сечении  $X$ , возникающий от сил инерции и реакции опор.

Выражение (1), которое не имеет точных решений, используется для оценки движения систем от случайных возбуждений. Существует несколько способов оценки устойчивости динамических систем. Один из них производится по значению частот собственных колебаний, который используется в настоящей работе. Для этого уравнение (1) необходимо привести к стандартному виду [5].

Вторая производная от  $M$  по  $x$  является интенсивностью распределения сил инерции, которая равна произведению массы единицы длины поперечины  $\rho$  на ускорение

$$\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} = \rho \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (2)$$

Дважды дифференцируя уравнение (1) по  $x$  и учитывая (2), получим

$$EI \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + (F \cdot \cos \omega t) \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \rho \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \quad (3)$$

Решение уравнения (3) находится в виде [5]

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} T_i(t) \cdot \sin \frac{i}{l} x, \quad (4)$$

где  $T_i(t)$  – перемещение поперечины в функции времени;

$i$  – тоны колебаний;

$l$  – длина поперечины.

Подставляя (4) в (3) и учитывая следующие граничные условия, которые зависят от способа крепления концов жатки,

$$y(0, t) = 0; y(l, t) = 0,$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(0, t) = 0; \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(l, t) = 0,$$

получаем уравнение для функции  $T(t)$

$$\ddot{T}_i + \frac{\pi^4 \cdot i^4 \cdot EI}{\rho \cdot l^4} \cdot \left[ 1 - \frac{l^2}{\pi^2 \cdot i^2 \cdot EI} \cdot F(t) \right] \cdot T_i = 0. \quad (5)$$

Опасность возникновения параметрического резонанса наступает в том случае, если частота собственных колебаний

$$\omega_o = \frac{\pi^2 \cdot i^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho}} \approx \frac{1}{2} k \omega (k = 1, 2 \dots, i = 1, 2 \dots). \quad (6)$$

По своим внешним признакам параметрический резонанс напоминает резонанс, возникающий в линейной системе при совпадении часто возбуждения системы с частотой её собственных колебаний.

Однако существуют и существенные отличия. Параметрический резонанс зависит от случайных возбуждений, которые практически не влияют на резонанс в линейной системе. Амплитуда колебаний при обычном резонансе возрастает по линейному закону, а при параметрическом – по экспоненциальному. В линейной системе наличие трения способствует снижению амплитуды, в параметрическом – этого не происходит. Заранее не возможно



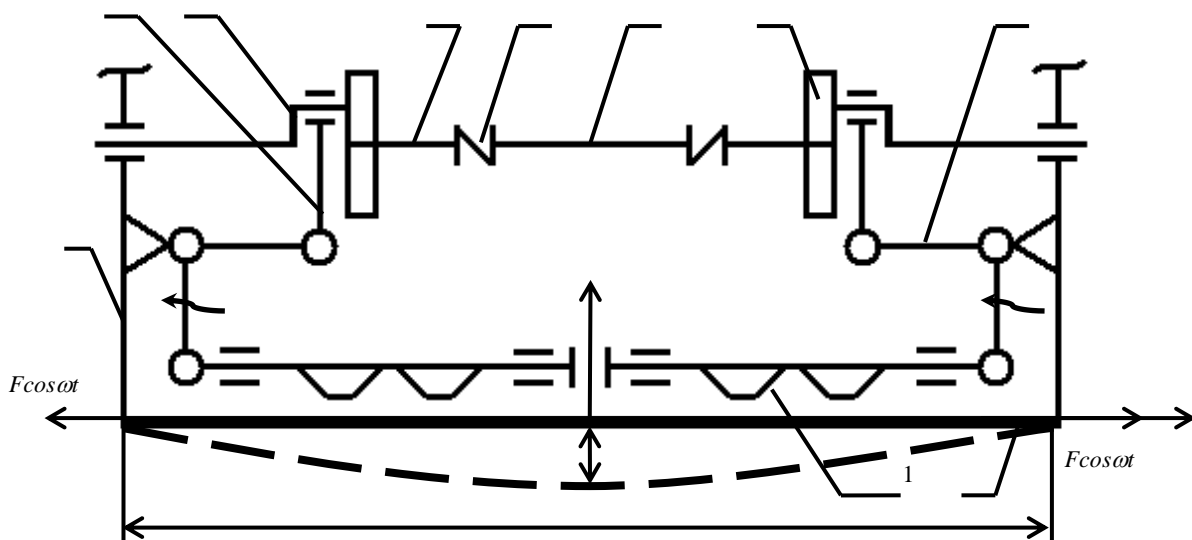
невозможно предсказать появление параметрического резонанса. Параметрический резонанс может возникать в тех случаях, когда отношение собственной частоты системы к половине частоты изменения коэффициента близко к целому числу.

При модуле упругости материала поперечины  $E=2,1 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>, момент инерции сечения поперечины (труба диаметром 102 мм, толщина стенки 4 мм),  $I=14,809 \cdot 10^{-7}$  м<sup>4</sup>; масса единицы длины поперечины  $\rho=9,67$  кг/м; частота собственных колебаний поперечины при  $i=1$

$$\omega_0 = \frac{3,14^2 \cdot 1}{5^2} \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 14,809 \cdot 10^{-7}}{9,67}} = 70,7977 \text{ рад/с.}$$

По паспортным данным комбайна ДОН-680М угловая частота колебаний режущего аппарата  $\omega=75,66$  рад/с. При  $k=2$  частота собственных колебаний практически совпадает со значением правой части выражения (6) и возникновение параметрического резонанса вполне возможно.

**Выводы.** В данном исследовании приведены материалы повышенной вибрации жатки комбайна РСМ-100 ДОН-680М. Другие жатки имеют аналогичную конструкцию и содержат, как и в рассматриваемом случае, режущий аппарат, мотовило, шнек и систему приводных механизмов. Для предотвращения изложенных неприятных явлений следовало проверить соотношение частот собственных колебаний жатки и ее отдельных опорных конструкций жатки и частот возбуждения. Заранее невозможно предсказать возникновение параметрических резонансов, т.к. каждая неустойчивая система неустойчива по-своему. Решение задачи об устойчивости системы можно дать лишь на основе изучения ее динамики. Для этого достаточно определить частоты собственных колебаний элементов жатки и обеспечить выполнение условий (6).



1 – боковина; 2 – шатун; 3 – кривошип; 4 – вал; 5 – муфта; 6 – трансмиссионный вал; 7 – шкив;  
8 – двуплечий рычаг; 9 – поперечина; 10 – режущий аппарат

Рис. 1 – Схема режущего аппарата кормоуборочного комбайна «ДОН-680М»

### Литература

- ГОСТ 12.2.019 – 86. Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные. – М.: Издательство стандартов, 2009. – 36 с.
- Лапшин П.Н. Зерноуборочные комбайны. Прочность, виброустойчивость, надежность. – Курган: КГСХА, 2010. – 133 с.
- Лапшин П.Н., Устинов Н.Н. Вибрация жатки кормоуборочного комбайна «ДОН-680М» // Достижения науки и техники АПК, №11. – 2010. – с. 79-80.
- Котов А.В., Чуприн Ю.В. Уравновешивание механизма качающейся шайбы привода режущего аппарата жатки для уборки трав // Тракторы и сельхозмашины, 2015, №10. – с. 23.
- Вульфсон Н.И., Коловский М.З. Нелинейные задачи динамики машин. – М.: Машиностроение, 1968. – 284 с.

### References

- GOST 12.2.019 – 86. Sistema standartov bezopasnosti truda. Traktory i mashiny samohodnye. – M.: Izdatel'stvo standartov, 2009. – 36 s.
- Lapshin P.N. Zernoubo-rochnye kombajny. Prochnost', vibroustojchivost', nadezhnost'. – Kurgan: KGSKHA, 2010. – 133 s.
- Lapshin P.N., Ustinov N.N. Vibraciya zhatki kormoubo-rochnogo kombajna «DON-680M» // Dostizheniya nauki i tekhniki APK, №11. – 2010. – s. 79-80.
- Kotov A.V., CHuprin YU.V. Uravnoveshivanie mekhanizma kachayushchejsya shajby privoda rezhushchego apparata zhatki dlya uborki trav // Traktory i sel'hoz mashiny, 2015, №10. – s. 23.
- Vul'fson N.I., Kolovskij M.Z. Nelinejnye zadachi dinamiki mashin. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 284 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.173

Ларина Е.А.<sup>1</sup>, Леонидов В.В.<sup>2</sup>, Москалев Н.С.<sup>3</sup><sup>1,3</sup>Бакалавр,<sup>2</sup>ассистент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана**МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
НА БАЗЕ AVR-МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ****Аннотация**

В данной работе представлена методика программирования AVR-микроконтроллера на примере ATmega8 как этапа проектирования цифровых систем управления на базе AVR-микроконтроллеров. Рассматриваются структура типового AVR-микроконтроллера и функции его основных компонентов, подробно описаны характеристики микроконтроллера ATmega8. В статье приведены этапы программирования ATmega8 посредством использования интегрированных средств среды для программирования CodeVisionAVR и дан последовательный алгоритм. В конце статьи даны рекомендации по тестированию запрограммированного микроконтроллера.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, цифровые системы управления, AVR, CodeVisionAVR, программирование, тестирование ЭС.

Larina E.A.<sup>1</sup>, Leonidov V.V.<sup>2</sup>, Moskalov N.S.<sup>3</sup><sup>1,3</sup>Bachelor,<sup>2</sup>assistant of department "Design and Production Technology of the Electronic Equipment"  
Moscow state technical university of N.E. Bauman**TECHNIQUE OF DESIGN OF DIGITAL CONTROL SYSTEMS ON THE BASIS  
OF AVR-MIKROKONTROLLEROV****Abstract**

This paper presents a method of programming AVR-microcontroller ATmega8 example of how the design phase of digital control systems based on the AVR-microcontroller. We consider the structure of a typical AVR-microcontroller, and its main components function, described in detail the characteristics of ATmega8 microcontroller. The article presents the stages of programming ATmega8 through the use of integrated tools environment for programming CodeVisionAVR and given a sequential algorithm. At the end of the article gives recommendations on testing the programmed mikrocontrollers.

**Keywords:** microcontroller, digital control systems, AVR, CodeVisionAVR, programming, testing ES.

**ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность** работы обусловлена популярностью AVR-микроконтроллеров при проектировании информационно-управляющих средств широкого спектра. Микроконтроллеры Atmel семейства AVR просты в использовании и интеграции, имеют низкую потребляемую мощность и обладают самой эффективной архитектурой для программирования на С или ассемблере [1-3].

**Цель работы** – разработать обобщенную методику проектирования цифровых информационно-управляющих систем на базе МК Atmega8 с использованием интегрированных инструментов среды для программирования codevisionAVR.

В рамках работы проанализированы основные особенности разработки информационно-управляющих систем на базе МК Atmega8 [1] и предложена авторская методика на основе среды codevisionAVR для программирования и настройки МК [2].

В работе на основе формализованного информационного минимума предложена обобщенная методика проектирования цифровых систем на базе AVR микроконтроллеров, которая обеспечивает минимизацию уверенных манипуляций при разработке ЭС в рамках типовых проектов проектирования ЭС с использованием МК.

Микроконтроллеры получили широкое распространение для управления электронными устройствами и выполнения логических и арифметических операций за счет возможности многократного программирования и универсальности. Они позволяют значительно упростить схемотехническую составляющую разрабатываемого устройства, а также позволяют значительно уменьшить габариты ЭС [3-11].

Универсальность микроконтроллера, значительное сокращение габаритов и при этом увеличение производительности, низкая стоимость и энергопотребление сделали микроконтроллер широко используемым при реализации большого спектра устройств различного назначения.

По сравнению с цифровыми сигнальными процессорами [4, 5] МК можно также использовать в области обработки сигналов и выполнении различных арифметических операций, однако, в отличие от сигнального процессора микроконтроллер эффективнее применять в приложениях, где он будет выполнять функции в области управления и ввода-вывода данных. В рамках продвижения решения на базе МК на рынке следует учитывать скорость и масштабы развития технологий в наше время, а следовательно необходимо рационально оценивать актуальность продвигаемого решения и тщательно анализировать возможные варианты исхода того или иного вида продвижений [6].

Одним из широко распространенных являются микроконтроллеры семейства AVR компании Atmel, предлагающий линейку 8-и, 16-и, 32-х разрядных архитектур микроконтроллеров с различными характеристиками (флеш-память, EEPROM, системы команд, встроенные интерфейсы и т.д.) и назначением (решения задач средней и высокой сложности, задач, требующих большого объема памяти и высокой скорости и т.д.) [12]. Еще одним популярным семейством микроконтроллеров является PIC компании Microchip Technology Inc. Производитель также предлагает 8-и, 16-и, 32-х разрядные микроконтроллеры с различными архитектурами и характеристиками. Еще одно популярное семейство это ARM- микроконтроллеры компании ARM Limited. Производитель предлагает различные подсемейства МК с различными возможностями и назначением.

Таким образом, не стоит преуменьшать важность МК, использование которого значительно облегчает решение таких вопросов как управление электронными устройствами, обеспечение минимизации габаритов, увеличение производительности и эффективности.

## 1 Анализ основных характеристик микроконтроллера семейства AVR

### 1.1 Анализ особенностей микроконтроллера семейства AVR

Типовой микроконтроллер включает в себе функции микропроцессора (это не тоже самое, что микроконтроллер) и периферийных устройств, содержит оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) и постоянное запоминающее устройство (ПЗУ). На рисунке 1.1 изображена обобщенная структурная схема типового микроконтроллера [7, 8].

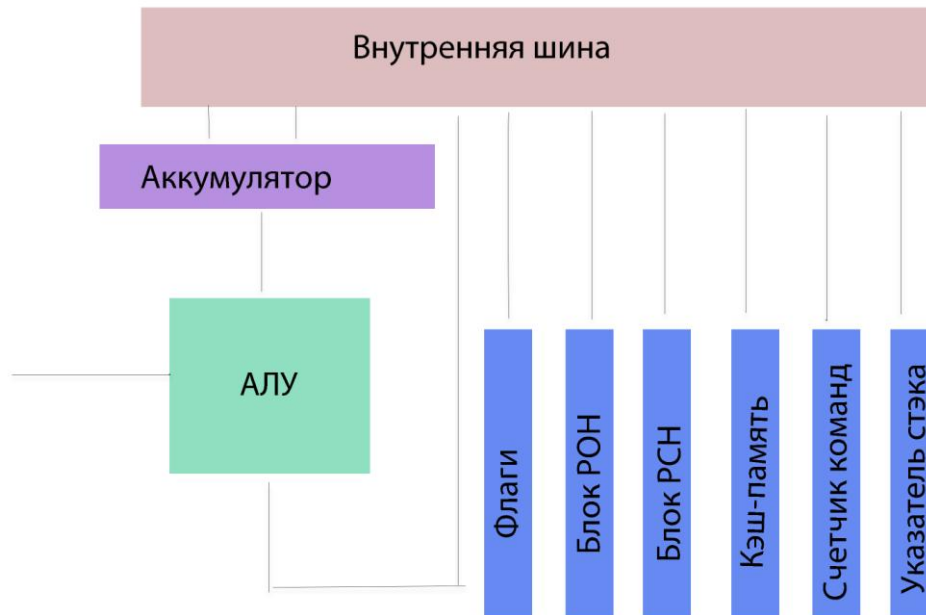


Рис. 1.1 – Типовая обобщенная структурная схема МК [11]

Можем выделить основные функциональные части:

- внутренняя шина соединяет все функциональные блоки между собой ;
- арифметическо - логическое устройство (АЛУ) – блок МК, выполняющий арифметические и логические операции;
- аккумулятор – это регистр МК, предназначенный для временного хранения операнда или промежуточного результата арифметических или логических операций, производимых АЛУ;
- регистры общего назначения (РОН) – регистры, используемые в арифметических операциях;
- регистры специального назначения (РСН) – регистры, в которых содержится служебная информация, определяющая настройки МК;
- счетчик команд – регистр, содержащий адрес текущей выполняющейся команды
- стек- структура данных, организованная по принципу LIFO( last in first out)
- кэш память – это высокоскоростная память доступа, используемая МК для временного хранения информации, которая вероятнее всего будет использована;
- регистр флагов – содержит флаги МК, отражающие его состояние;

Микроконтроллер Atmega8 это самый популярный микроконтроллер семейства AVR производителя Atmel, который максимально прост в использовании и реализации конкретных решений в сфере электроники даже на уровне радиолюбителей.

AVR микроконтроллеры имеют гарвардскую архитектуру, которую можно определить как архитектуру, основными отличительными особенностями которой являются:

- хранилище инструкций и хранилище данных представляют собой разные физические устройства;
- канал инструкций и канал данных так же физически разделены.

Схема МК с гарвардской архитектурой приведена на рисунке 1.2.



Рис. 1.2 – Гарвардская архитектура МК [3]

Таким образом микроконтроллер уже не представляет собой черный ящик, а является совокупностью функциональных блоков, имеющих определенное назначение.

Следующим шагом будет обзор характеристик конкретного микроконтроллера ATmega8, основных принципов и подходов при программировании данного МК и формирование алгоритма методики его программирования.

## 1.2 Микроконтроллер Atmega8

Микроконтроллер Atmega8 как уже было сказано один из самых простых и в тоже время надежных и эффективных МК, которые можно использовать при проектировании ЭС. Реализации микросхем может быть в нескольких видах корпуса PDIP, TQFP и MLF, выбор конкретной реализации зависит от конструктивных особенностей разрабатываемого устройства.

Рассмотрим микроконтроллер в корпусе PDIP приведенный на рисунке 1.3.

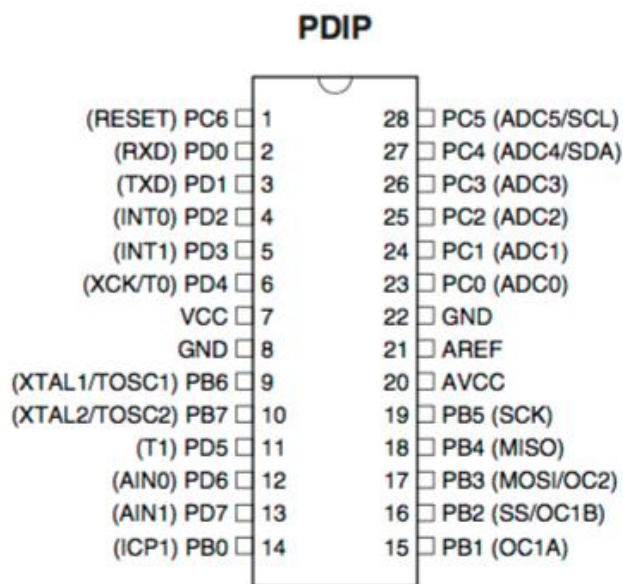


Рис. 1.3 – Микроконтроллер Atmega8 в корпусе PDIP[1]

Характеристики микроконтроллера приведены в сопроводительной документации к МК, о них не стоит забывать и учитывать при разработке устройства.

Для того чтобы осилить программирование микроконтроллера необходимо прежде всего знать о распиновке микросхемы и назначению той или иной ножки МК. Подробное описание каждого пина можно узнать из Datasheet [1] к данному микроконтроллеру, стоит заметить, что вообще всю важную информацию о том или ином электронном компоненте можно получить непосредственно в datasheet на него.

Стоит обратить внимание на структуру пинов на рисунке 1.3 группы PC(0...6) PB(0...6) PD(0...7) это пины конкретных портов ввода/вывода C, B и D соответственно, эти порты предназначены для подключения микроконтроллера в основную схему, например, если необходимо подключить ЖК экран, то он будет подключен с помощью какого либо из этих трех портов. Следует отметить назначение линии - AREF – напряжение на этом выводе поступает на АЦП и конвертируется, после этого определяется напряжение, которое позволяет АЦП генерировать максимальное цифровое значение, т.е 1023. Остальные значения напряжения, поступающие в АЦП, конвертируются пропорционально. При настройке по умолчанию напряжения 5 В, напряжение 2.5 В в АЦП будет конвертироваться в 512.

- AVCC – пин для подключения питания для АЦП, он должен быть внешне подключен к VCC, даже если АЦП не используется. Если АЦП используется, он должен быть подключен к VCC через низкочастотный фильтр.

Основные пины описаны, однако на рисунке 1.3 возле некоторых пинов можно увидеть помимо обычного обозначения обозначение в скобках, например возле PC6 есть значение в скобках RESET, данная надпись означает, что в зависимости от настройки МК, его ножки могут работать в разном режиме, например в данном случае при соответствующей настройке МК, при подаче низкого уровня сигнала на данный пин инициируется сброс микроконтроллера и перезапуск. Все остальные нюансы дополнительных режимов работы можно узнать из datasheet atmega8 [1].

Настройка выводов микроконтроллера осуществляется через fuse-биты или конфигурационные биты. Каждый конфигурационный бит можно установить в 0 – это будет означать что он запрограммирован или в 1 – не запрограммирован. По умолчанию все конфигурационные биты микроконтроллера установлены в 1, т.е. не запрограммированы. Настройка данных битов устанавливает конкретные правила для микроконтроллера и определяет его режим работы как в случае описанном выше для PC6, либо он работает как пин in/out, либо является пином сброса МК. Правильно настроить fuse-биты можно с помощью специальной программной среды для прошивки AVR-микроконтроллера CodeVisionAVR, работа с которой будет рассмотрена в следующей главе. Подробное назначение конфигурационных битов представлено в [1].

Все разнообразие комбинаций установки конфигурационных битов и возможные функции описаны в datasheet к МК и используются для реализации определенных задач и целей. Как можно заметить из описания назначения битов эти настройки крайне важны и требуют осознанные манипуляции ними, если целью является разработка работоспособного устройства с МК, который работает корректно.

Таким образом после выбора микроконтроллера для конкретного решения необходимо внимательно изучить:

- характеристики МК, которые должны полностью удовлетворять требованиям к разрабатываемому устройству;

- распиновку и назначение пинов, для дальнейшей разработки печатной платы и правильного соединения с компонентами схемы и корректного использования каждого пина;

- схему, разрабатываемого устройства, для решения есть ли необходимость в использовании fuse-битов, если необходимость есть, разобраться какие комбинации fuse-битов нужно установить;

Из описания конфигурационных битов вполне ясно, что далеко не все из них нужно использовать и все зависит исключительно от состава разрабатываемого устройства.

## 2 Методика проектирования в среде CODEVISIONAVR

Среда CODEVISIONAVR представляет собой интегрированную среду разработки ПО для AVR микроконтроллеров [9].

CodeVisionAVR позволяет осуществлять разработку программного кода и осуществлять его компиляцию. Редактор позволяет осуществлять работу сразу с несколькими проектами одновременно и настроить автосохранение. Есть возможность генерирования емкого и результативного автокода для всего семейства микроконтроллеров AVR. Кроме компилирования CVAVR снабжен модулем прошивки, позволяющим записать уже скомпилированную программу на микроконтроллер с помощью программатора. Программа поддерживает все официальные популярные программаторы, которые можно выбрать в процессе настройки программатора (подробное описание ниже).

Отметим основные модули, входящие в состав CodeVisionAVR:

- трансляторы программ, составленных на Си-подобных языках или ассемблере, в машинный код для AVR;
- элементы для инициализации периферийных устройств;
- модуль для работы с платой отладки STK-500;
- компоненты взаимодействия с внешними программаторами;
- редактор первичного кода;
- терминальный модуль.

После создания готовой работоспособной программы в CVAVR, ее можно сохранить с расширением HEX, ROM или BIN, файлы с такими расширениями позволяют осуществлять прямую прошивку с использованием другого программатора. Кроме этого, данные файлы могут быть протестированы в таких программных средах как Proteus, где можно создать модель разрабатываемого устройства, загрузить HEX-файл и посмотреть корректно ли работает модель в анимации, данный способ уменьшает количество бесполезных прошивок микроконтроллера, количество которых ограничено (с количеством можно ознакомиться в datasheet). Также, программа может быть передана в формате COFF (файл отладчика) или OBJ. Программная среда постоянно развивается и с каждым обновлением расширяется число библиотек и продукции, поддерживаемой средой, например таких известных производителей как Philips, National Semiconductor, Maxim-Dallas Semiconductor и других.

Стоит заметить, что компилятор CodeVisionAVR отличается от AVR-GCC, используемый в среде разработки WinAVR, синтаксисом, количеством библиотек и поддерживаемых продуктов и быстродействием выходного кода. Специфика разработки, командное меню и программные возможности среды CVAVR похожа на программу PonyProg.

Программа CVAVR позволяет осуществлять прошивку не только самой программы в flash-память МК, но и настраивать конфигурационные биты (см гл 1.2) и записывать EEPROM микроконтроллера, но не стоит забывать, что все описанные процедуры самостоятельные, требуют ручной настройки и осознанного подхода. Разработчик рекомендует следующий алгоритм прошивки:

- запись пользовательского кода программы;
- запись EEPROM;
- настройка конфигурационных битов (fuse-битов);

При запуске программы необходимо сконфигурировать CVAVR, для этого необходимо выбрать микроконтроллер, который в дальнейшем будем прошивать. В рамках данной статьи это Atmega8. Для этого необходимо выбрать CodeWizardAVR, после чего откроется окно как показано на рисунке 2.1

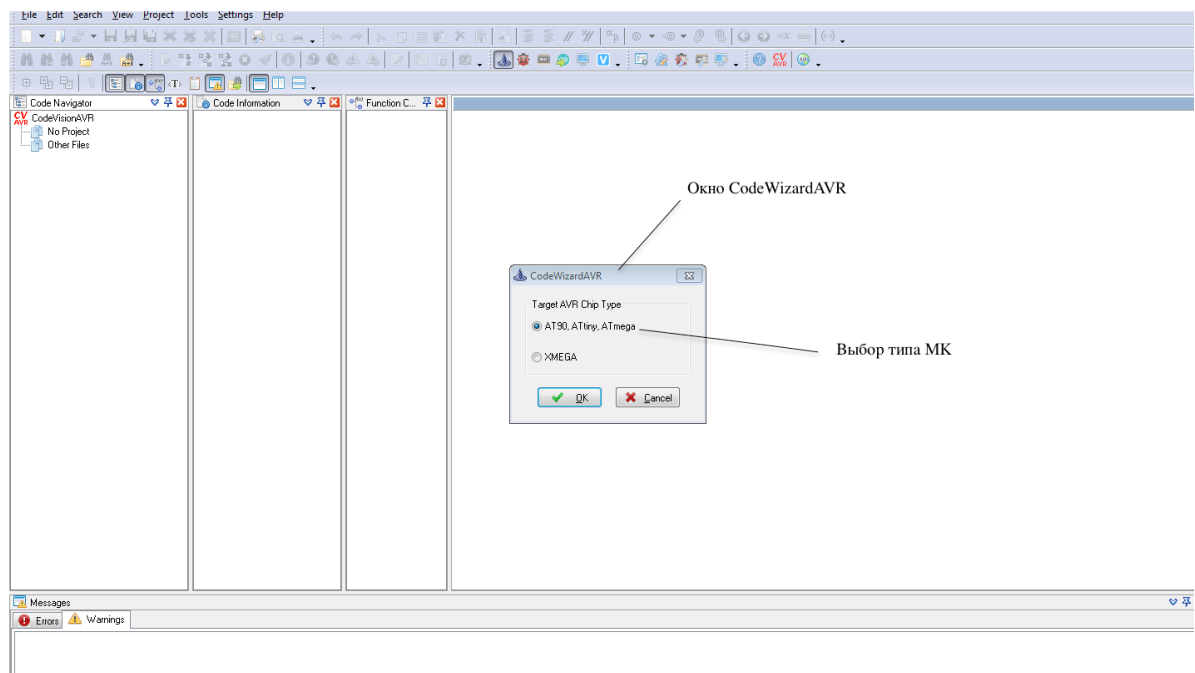


Рис. 2.1 – Окно CodeWizardAVR

В открывшемся окне необходимо выбрать пункт AT90, Attiny, Atmega, после чего откроется окно с первичными настройками МК (рисунок 2.2) В выпадающем окне chip необходимо выбрать свой МК, в нашем случае это Atmega8.

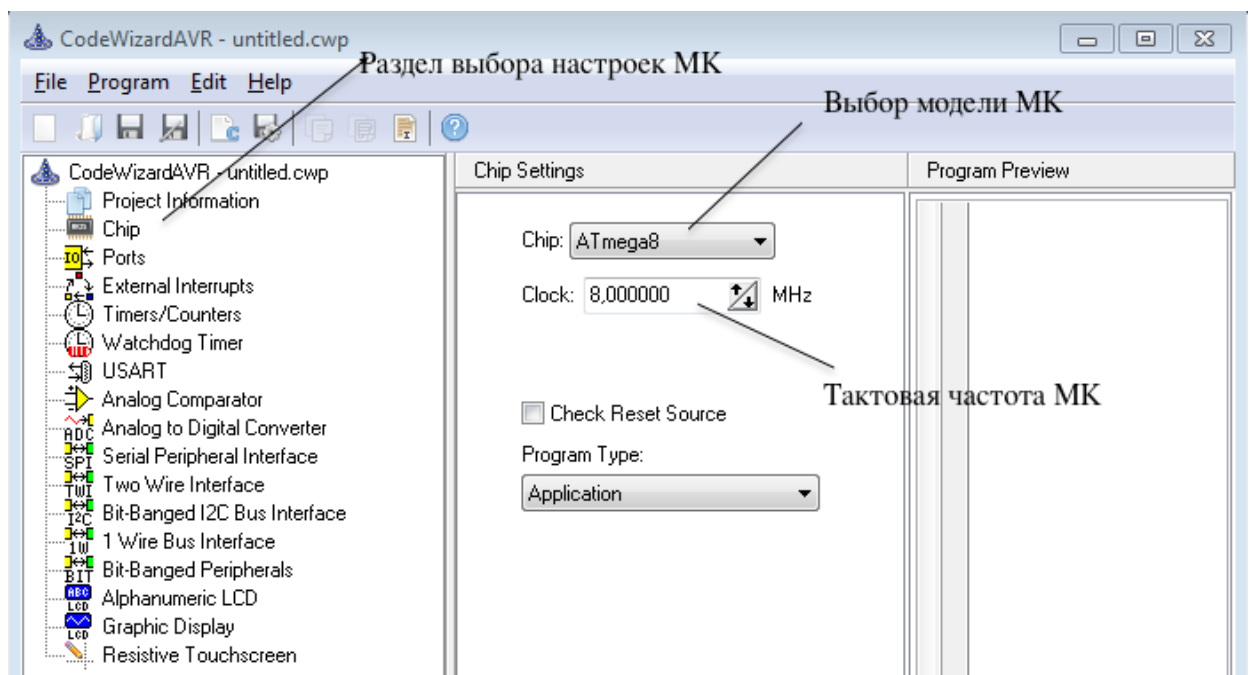


Рис. 2.2 – Окно выбора микроконтроллера в CVAVR

После выбора микроконтроллера в поле ниже отобразится частота внутреннего RC-генератора в данном микроконтроллере, в нашем случае это 8МГц. Здесь стоит пояснить о том, что это за частота и какие возможны изменения и настройки в связи с этим при нестандартных решениях при проектировании ЭС.

Микроконтроллер AVR работает на определенной тактовой частоте, которая характеризует скорость его работы[11]. Этот параметр крайне важен для некоторых приложений( например приложений реального времени), скорость работы которых имеет прямую зависимость с работоспособностью и корректностью выполнения основной задачи. Поэтому тактовая частота без сомнения важна и необходимо ее знать или уметь определять. Одной инструкции на языке низкого уровня ассемблере соответствует длительность одного такта( стоит заметить, что существуют инструкции, выполняемые за большее количество тактов), следовательно чем больше тактовая частота,

тем быстрее реагирует МК и тем быстрее выполняет программный код. Также микроконтроллер содержит множество интерфейсов, таких как SPI, АЦП, UART, I2C, работа данных интерфейсов зависит от величины тактовой частоты.

Для приложений, где нет необходимости в точной генерации интервалов времени, или когда быстроедействие микроконтроллера не является самоцелью, можно использовать встроенный в микроконтроллер RC-генератор. Генератор имеет тактовую частоту равную 8 МГц, однако по умолчанию установлен делитель на 8, поэтому реальная тактовая частота по умолчанию будет составлять 1 МГц. Стоит отметить, что делитель может быть сконфигурирован не только на значение 8, но и на другие коэффициенты деления или же вовсе отключен, поэтому частоту внутреннего генератора можно настроить на диапазон частот от 1МГц до 8МГц. Наличие внутреннего генератора заметно облегчает и удешевляет устройство, вследствие исключения необходимости в внешнем кварцевом резонаторе. Однако необходимо учитывать недостаток RC-генератора, который заключается в его неточности, по сравнению с внешним кварцевым резонатором. Данный недостаток заметно ограничивает диапазон применения внутреннего генератора.

Тип подключаемого генератора и его тактовая частота определяется конфигурационными битами микроконтроллера AVR. По умолчанию микроконтроллер AVR сконфигурирован на взаимодействие с внутренним генератором и, как уже было сказано ранее, настроен на тактовую частоту, равную 1МГц.

После настройки раздела chip можно перейти к разделу ports (рисунок 2.3). В данном разделе можно сконфигурировать порты микроконтроллера на вход или выход, установив, соответственно, 1(out) - работы на выход, 0(in) - режим работы на вход.

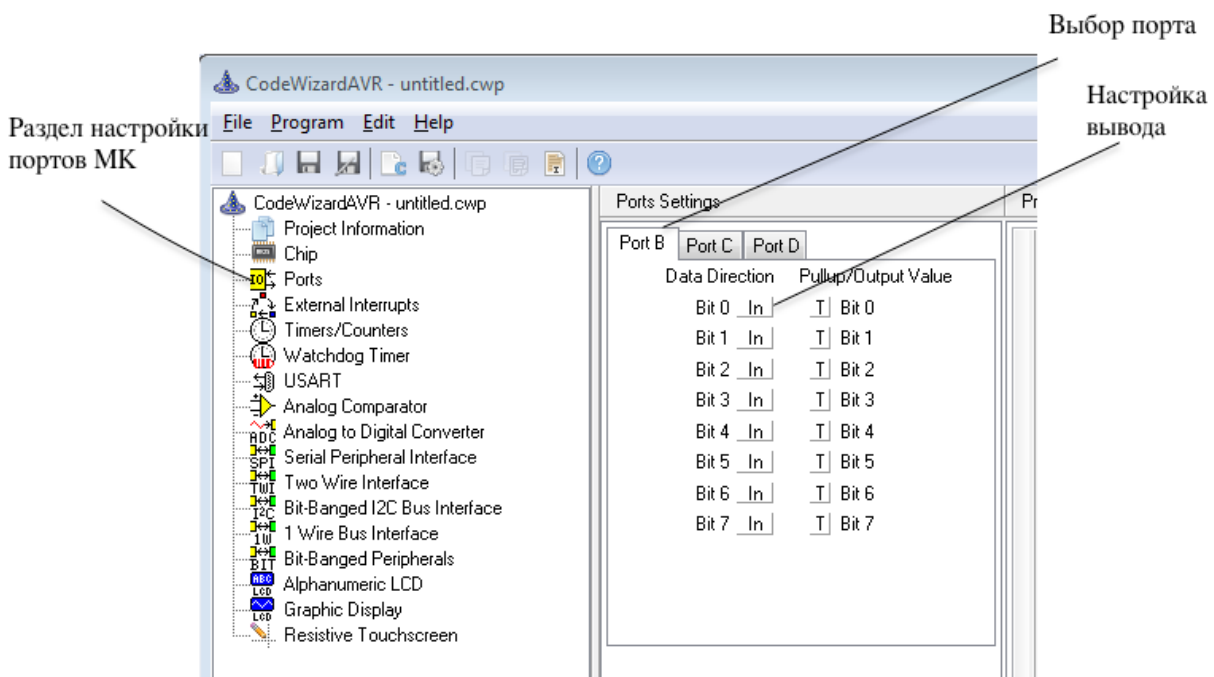


Рис. 2.3 – Окно настройки портов CVAVR

Здесь необходимо рассмотреть подробнее, мы не устанавливаем 0 и 1 в регистре конкретного порта, мы устанавливаем эти значения в специально существующем для этого регистре направления данных (DDR), который есть у каждого порта. Для того, чтобы сделать это не через CVAVR достаточно написать в коде программы запись, например: `DDRB=0x02`. Данная запись означает двоичное число 0000010 (разрядность определяется из количества пинов порта, в нашем случае 8), таким образом получаем, что 2 пин порта установится на выход, а все остальные пины будут настроены на выход.

Далее идут вкладки настроек различных видов соединений, таких как USART, 1 Wire, Two Wire, подключить и настроить таймеры, подключить АЦП, LCD экран и прочие настройки.

Как только предварительная настройка микроконтроллера завершена, необходимо нажать Program/Generate, Save and Exit для сохранения файлов проекта.

Далее откроется проект, файлом, в котором будет формироваться сама программа будет файл с расширением .c. Этот файл автоматически создается и после настройки микроконтроллера в нем отражены в виде кода все установки конфигурации портов, все подключаемые периферийные устройства, однако в закомментированном виде.

### 3. Методика программирования микроконтроллера

Как только программа написана и откомпилирована (компиляция кода должна быть успешна для дальнейшей прошивки на микроконтроллер) ее можно загрузить в микроконтроллер.

Как уже до этого было сказано для программирования МК необходим посредник между компьютером и микроконтроллером, которым является программатор и отладочная плата, в которую вставляется МК и подключается к ноутбуку. Программаторы бывают различные по принципу действия и типу подключения, выбираются в



соответствии с характеристиками и возможностями. В общем случае методика проектирования базируется на конкретной методологии проектирования исходя из критериев качество-сроки-сопровождение [10, 11].

Для начала приведен краткий алгоритм действий при прошивке МК в программной среде CVAVR:

- убедиться, что компиляция программы была успешно и все ошибки исправлены;
- подключить программатор к компьютеру и убедиться, что он активен (индикация на программаторе);
- выбрать в CVAVR свой программатор;
- настроить прошивку;
- прошить микроконтроллер;
- протестировать корректность прошивки.

Теперь рассмотрим подробнее предлагаемый алгоритм. Итак для выбора программатора необходимо выбрать Settings/Programmer и в открывшемся окне выбираем наш программатор (рисунок 2.4) и нажимаем ok.

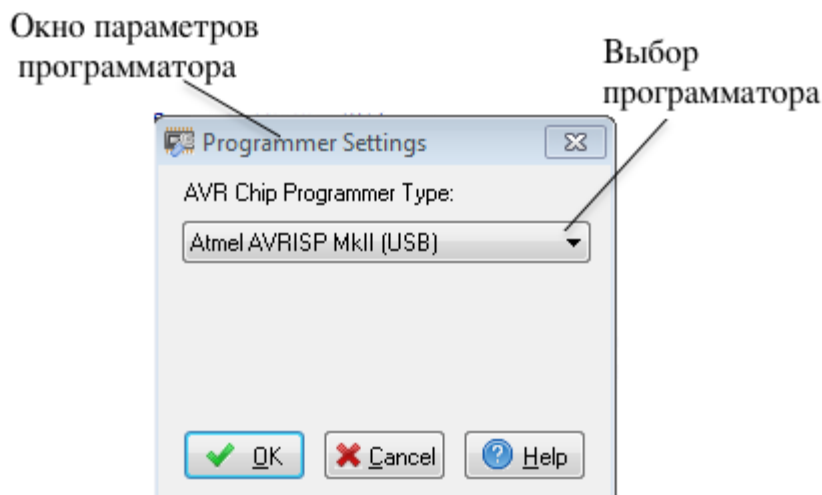


Рис. 2.4 – Выбор типа программатора CVAVR

Далее заходим в меню прошивки Tools/Chip Programmer и для проверки информацией о цифровой подписи необходимо выбрать read/chip signature. В случае, если все верно подключено, то появиться окно как на рисунке 2.5

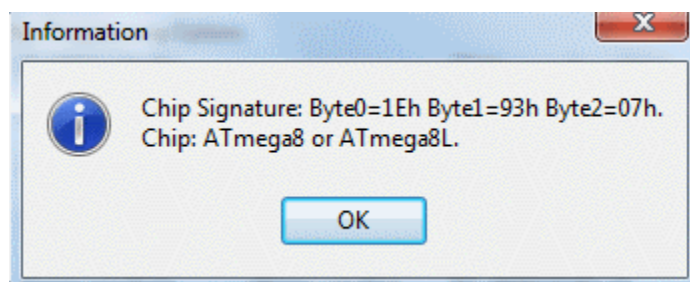


Рис. 2.5 – Информация о цифровой подписи МК

В случае, если программа уже была записана на ваш микроконтроллер, то стереть ее можно командой Program/Erase chip.

В правой части окна расположен список конфигурационных битов, настройка этих битов позволяет сконфигурировать микроконтроллер например на работу от внешнего кварцевого генератора с определенной частотой и прочие варианты, необходимость в которых может возникнуть.

Если необходимости в установке конфигурационных битов нет или отсутствует точное понимание как ими пользоваться необходимо снять метку с поля Program fuse bits и прошить только flash память МК, выбрав program/flash. После чего программа будет загружена в микроконтроллер.

Безусловно в данной статье приводится описание далеко не всех возможностей CVAVR, как например есть возможность программирования EEPROM памяти, актуальной для хранения пароля доступа в замке или других данных, которые необходимы в рамках конкретного ЭС.

После прошивки микроконтроллера, для того чтобы убедиться, что программа работает корректно можно собрать схему разрабатываемого устройства на макетной плате и подключить в схему прошитый микроконтроллер. Для того, чтобы увеличить вероятность успеха стоит перед прошивкой микроконтроллера смоделировать схему в программной среде Proteus, если программа работает корректно в модели, то скорее всего она заработает и на макетной плате в реальности.

Данная методика актуальна при работе цифровых управляющих систем, она может быть полезна при организации и проведении занятий для студентов технических специальностей, при выполнении курсовых и домашних работ, а также радиолюбителей.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье был приведен обзор информации о конструкции структуры микроконтроллера, определены его главные функциональные составляющие и их назначение. Были рассмотрены основные характеристики микроконтроллера Atmega8, их назначение и возможности их настройки с помощью конфигурационных битов.

Вторая часть статьи представляет собой методику программирования и способы настройки микроконтроллера на примере Atmega8, а также даны рекомендации по тестированию и моделированию разрабатываемого устройства.

Статья позволяет ознакомиться с интегрированной программной средой CodeVisionAVR для программирования управляющей программы микроконтроллера для разрабатываемого ЭС. Рассмотрены основные принципы и подходы к программированию в среде, возможности среды и составляющие модули программы.

### Литература

1. Datasheet ATmega8/ATmega8L [electron source] / Atmel Corporation / - electron text data – USA, San Jose, 2006 – access mode: [http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8\\_1\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8_1_datasheet.pdf), free - language - Eng.
2. В. Н. Баранов Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы, 2-е издание. - М.: Издательство Додэка XXI. 2006.
3. Мысловский Э., Власов А., Акристиный М. Краткий обзор популярных семейств современных микроконтроллеров // Электронные компоненты. 2002. № 5. С. 47-50.
4. Мысловский Э.В., Власов А.И., Кузнецов А.С. Цифровые сигнальные процессоры с фиксированной точкой семейства ADSP21XX: Учебное пособие - Москва. Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана. 2003. Том 2. 64 с.
5. Мысловский Э.В., Власов А.И., Меньшов К.А. ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССОРЫ С ПЛАВАЮЩЕЙ ТОЧКОЙ СЕМЕЙСТВА ADSP2106X: Учебное пособие - Москва. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2003. Часть 3. 64 с.
6. Тимошкин А.Г., Власов А.И. О стратегии и тактике маркетинговой политики многопрофильной компьютерной фирмы // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 1996. № 9. С. 59-61.
7. Шахнов В.А., Власов А.И., Поляков Ю.А., Кузнецов А.С. Нейрокомпьютеры: архитектура и схемотехника - Москва, Изд-во Машиностроение. 2000. Приложение к журналу "Информационные технологии" № 9. 64 с.
8. Власов А.И. Аппаратная реализация нейровычислительных управляющих систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 1999. № 2. С. 61-65.
9. CodeVisionAVR C Compiler [electron source] / DELCOMp / - electron text data – Belgium, Leuven, 2016 – access mode: <http://www.codevision.be/codevisionavr/codevisionavr-standard>, free - language - Eng.
10. Власов А.И. Пространственная модель оценки эволюции методов визуального проектирования сложных систем // Датчики и системы. 2013. № 9 (172). С. 10-28.
11. В. Я. Хартов Микроконтроллеры AVR. Практикум для начинающих, 2-е издание - Москва. Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2012.

### References

1. Datasheet ATmega8 / ATmega8L [electron source] / Atmel Corporation / - electron text data - USA, San Jose, 2006 - access mode: [http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8\\_1\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8_1_datasheet.pdf), free - language - Eng.
2. V. N. Baranov Application of microcontrollers AVR: scheme, algorithms, programs, 2nd edition. - M.: Publisher Dodeka XXI. 2006.
3. Myslovsky E., A. Vlasov, Akristiny M. overview popular family of modern microcontrollers // Electronic Components. 2002. № 5. С. 47-50.
4. Myslovsky E.V., Vlasov A.I., Kuznetsov A.S. Digital signal processors with fixed point family ADSP21XX: Textbook - Moscow. Publishing House of the MSTU Bauman. 2003. Volume 2. 64.
5. Myslovsky E.V., Vlasov A.I., K.A. Menchov Digital signal processor with a floating point family ADSP2106X: Textbook - Moscow. Publishing house of the MSTU. Bauman. 2003 Part 3. 64.
6. Timoshkin A.G., Vlasov A.I. The strategy and tactics of marketing policy MULTIDISCIPLINARY computer firm // Instruments and systems. Management, monitoring, diagnostics. 1996. № 9. S. 59-61.
7. Shakhnov V.A., Vlasov A.I., Polyakov Yuri, Kuznetsov A. S. Neurocomputers: architecture and circuitry - Moscow, Publishing House of Mechanical Engineering. 2000 Supplement to the "Information Technology" number 9. 64.
8. Vlasov A. I. Hardware implementation of neurall control systems // Instruments and systems. Management, monitoring, diagnostics. 1999. № 2. S. 61-65.
9. CodeVisionAVR C Compiler [electron source] / DELCOMp / - electron text data - Belgium, Leuven, 2016 - access mode: <http://www.codevision.be/codevisionavr/codevisionavr-standard>, free - language - Eng.
10. Vlasov A.I. Spatial model assessment of the evolution of methods of visual design of complex systems // Sensors and Systems. 2013. number 9 (172). S. 10-28.
11. V. Ya Hart Microcontrollers AVR. Workshop for beginners, 2nd edition - Moscow. Publisher MSTU. Bauman. 2012.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.025

Лебедева А.А.

ORCID: 0000-0003-1014-1109, студент магистратуры,

Поволжский государственный технологический университет

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ МЕТЕОРНЫХ СЛЕДОВ***Аннотация*

*В статье рассмотрены основные физические принципы метеорной радиосвязи. Предложена структурная схема программно-аппаратного комплекса для зондирования метеорных следов. В основу комплекса заложены принципы программно-определяемой радиосистемы. В работе приводится функциональная схема цифрового гетеродина, а так же описание программного обеспечения с примером принимаемых данных. Данный комплекс позволяет устранить ряд недостатков метеорной радиосвязи, а также повысить ее дальность и защищенность.*

**Ключевые слова:** метеорная радиосвязь, программно-определяемая радиосистема.

Lebedeva A.A.

ORCID: 0000-0003-1014-1109, undergraduate,

Volga State University of Technology

**SOFTWARE AND HARDWARE SYSTEMS FOR SOUNDING METEOR TRAILS***Abstract*

*The article describes the basic physical principles of meteor radio. A block diagram of hardware and software for sensing meteor trails. The principles of software-defined radio system lies at the heart of the complex. The paper presents a functional diagram of a digital oscillator, as well as software description with an example of the received data. This complex allows eliminating a number of shortcomings meteor radio, as well as increasing its range and security.*

**Keywords:** meteor radio, software-defined radio.

The Earth is constantly bombarded by particles of interplanetary material from outer space. Upon entering the earth's atmosphere, along the route of the decaying particle, rapidly disappearing ionized tracks occur. The trace length can be up to 15 km with a width of about 20 meters, such flow can exist from 200 ms to 1 s. These tracks are different from the normal linear electron density and effectively reflect radio signals in the range of 40-100 MHz. Due to this, the radio signal sent by the transmitter into the atmosphere, is reflected off the meteor channel and transmitted to the Earth.

Since the development of the meteor trails is sporadic, the meteor radio systems allow, in the UHF band at long distances with small capacity and simple antennas, to ensure secrecy and immunity, low exposure to natural and artificial ionospheric disturbances and, therefore, the reliability of communication.

The radiophysical fundamentals of meteor communication are as follows. The meteor trail is a natural passive repeater. To get the directions to a mirror image, the meteor trail should take place on a tangent to one of the family of ellipsoids of rotation with focus point transmission and reception point. The meteor traces satisfying the specular reflection condition, are potentially useful for communication. The presence of geometric and energy constraints leads to the fact that not all the meteor traces occurring in the meteor zone (85 - 120 km) of the ionosphere can be used for communication, and reflected radio waves in the meteoric channel will only be accepted from the very limited areas of the meteor zone.

The optimal frequencies are in the range of 35-60 MHz. Although they are not rigid boundaries, but the frequencies outside this range have limited use. The lower limit is set to reduce the effects of atmospheric noise and space, the physical size of antennas and signal attenuation due to so-called D-layer of the ionosphere. At the frequencies above 60 MHz, the phase dispersion of multipath limits the useful duration of the meteor trail.

An important prerequisite for the meteor communication technology is the choice of frequencies. Only at the bottom of the VHF the right combination of receiver sensitivity and reflecting meteor trail ability can be found to create a viable system.

The meteor communication systems are highly effective when used in the radio band. Radio frequency is not enough, and the increasing need for information requires the economical use of the radio spectrum. Since the vast territories of different service users "served" by different meteors, the interference between users virtually eliminated, even if the same frequency is used in a very large area. Thus, all Europe may be serviced by one or two channels, depending on the configuration of the communication network.

If the communication system is formed as a star with a central base station and a certain number of remote stations, the limited communication capacity balance is disturbed by remote terminal stations. In case a mobile terminal is applied, the use of the omni-directional antenna will also affect the balance due. To restore the balance in the communication channel, the transmit power gain of the receiving base station antennas must be increased. To obtain an acceptable energy potential power line communication, the terminal should be around 100 watts.

Larger systems can be built using multiple base stations connected directly. Depending on the layout of the network, it is possible that the base station A located in the area of the base station B and vice versa. When using a single frequency channel for communication across the network it is likely that base stations will interfere the connection with the remote communication stations. Due to the high transmitter power and high gain of the receiving antenna, the connection between two base stations will have a much lower latency, which increases the level of interference. Defining one frequency channel for transmitting and receiving a single frequency channel to the base station, the interference between two base stations may be excluded, and the meteor communication channel can be used more efficiently. The two channels will be used by remote stations in the reverse order.

The GMSK-modulation is usually used to minimize the interference of adjacent channels (Gaussian Minimum Shift Keying modulation- Gaussian minimum shift modulation). The communication protocols are designed to provide 90% of the coefficient of traffic load.

The meteor trail coverage area may be defined as a ground region in which a specific time and a specific location of the transmitter, the power of the received signal exceeds a threshold. Such zone can be more accurately called an instantaneous service area, because its size and location is changed during the pulse. As it might be expected, the size of the zone increases and then decreases, and the location is changed, as a result of displacement of the meteor trail because of the winds in the upper atmosphere.

The size of the service area is an indicator of the degree of connection security. A small service area provides a low detection probability. The most important factor affecting the size of the service area is the location of the track relative to the transmitter and receiver. The meteor traces extending close to the transmitter to form a large service area. As a consequence, the service area for the two transmissions back and forth may be of different sizes.

The block diagram of the transmitter (Figure 1) consists of a GPS / Glonass module GEOS-3 device coordinates position (needed to calculate the distance between the transmitter and receiver and a delay in the signal distribution) and synchronization of time scales. The structure of the block diagram also includes a direct digital synthesizer (DDS) for frequency 1508PL9T necessary for communication. To increase the power of the radio signal to the required level, the power amplifier (PA) is applied. The main requirements to the power amplifier is the low distortion of the transmitted signal and high efficiency.

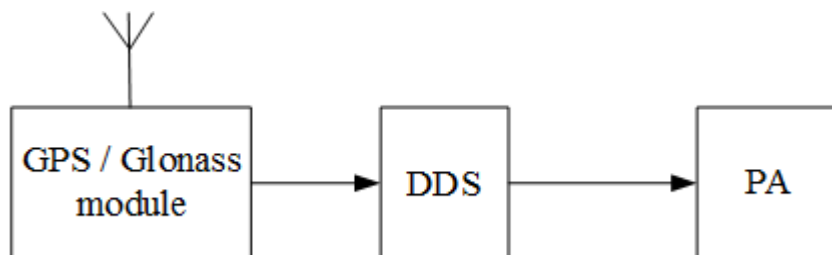


Fig. 1 – The block diagram of the transmitter

The receiving part (Figure 2) of the hardware-software complex includes an input filter (1), an analog-to-digital converter (ADC) (2), a digital heterodyne (3), computers (4), a digital computer synthesizer (DDS) (5), and a synchronometer (GPS module / Glonass) (6).

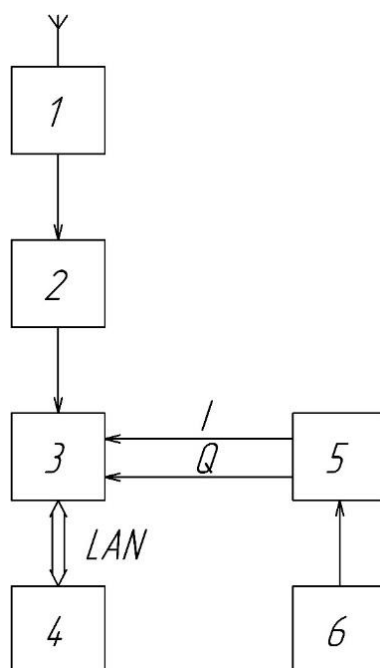


Fig. 2 – The block diagram of the receiving part

At the core of the receiving part is a digital oscillator. Initial signal processing is performed in the digital local heterodyne in the future data received through the PCI interface to a personal computer (PC) with special software installed.

Functional diagram of the digital heterodyne is shown in Figure 3.

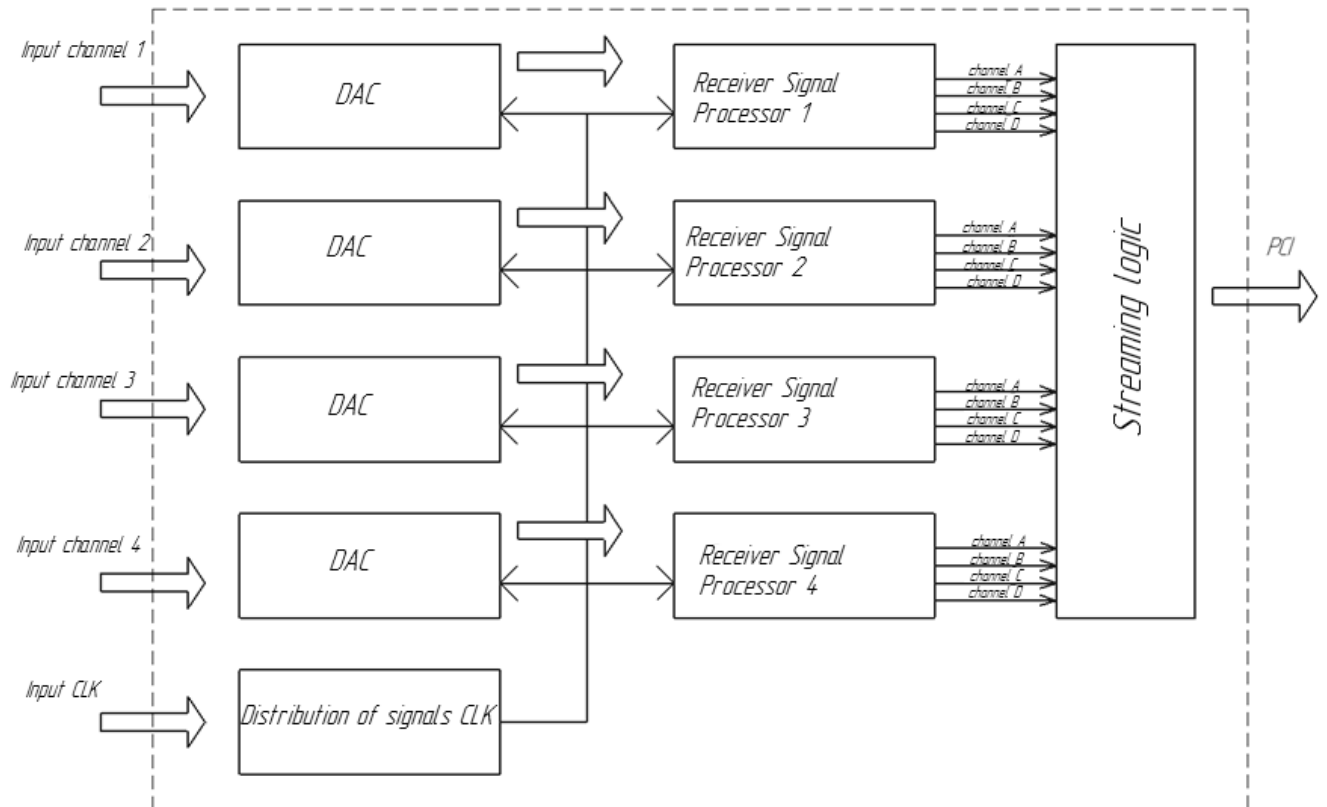


Fig. 3 – Functional diagram of the digital heterodyne

The software is based on modified free program Spectrum Lab with special script and upgraded software SRM-3000 application.

Working window of the program's SRM-3000 application is shown in Figure 4, examples of the received data are presented in Figure 5.



Fig. 4 – Operating window SRM-3000 application



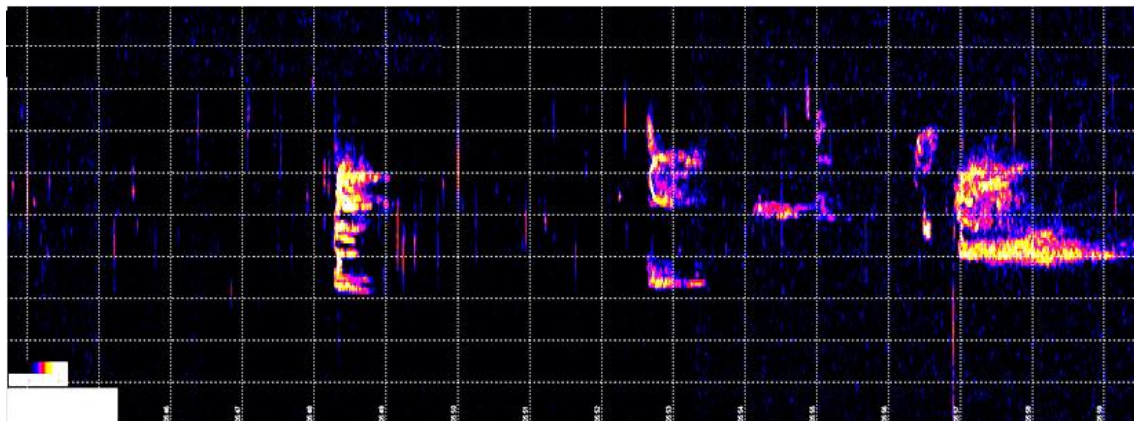


Fig. 5 – Example of received data

### References

1. Ryabov I.V., Tolmachev S.V. SDR-receiver for radio meteor // In: Proceedings of the 15-th International Conference “Digital Signal Processing and its Applications” (DSPA'2013., Vol. 2. Moscow, Russia, 2013.
2. Ryabov I.V., Tolmachev S.V., Chernov D.A. SDR receiver on FPGA for the study of radar reflections from auroras // In: Proceedings of the 16-th International Conference “Digital Signal Processing and its Applications” (DSPA'2014., Vol. 2. Moscow, Russia, 2014.
3. Ryabov I.V., Tolmachev S.V., Chernov D.A. Programming FPGA family Xilinx company ZYNQ using MatLab and Simulink to study meteor radio // In: Proceedings of the 17-th International Conference “Digital Signal Processing and its Applications” (DSPA'2015., Vol. 2. Moscow, Russia, 2015.
4. Ryabov I.V., Tolmachev S.V., Lebedeva A.A. Hardware-software complex for detection of meteor trails // In: Proceedings of the 18-th International Conference “Digital Signal Processing and its Applications” (DSPA'2016., Vol. 2. Moscow, Russia, 2016, p. 603-608.
5. Ryabov I.V., Tolmachev S.V., Lebedeva A.A. Automated hardware-software system for remote detection of meteor trails // In: Proceedings of the XXII-th International Conference “Radiolocation, Navigation, Communication” (RLNC '2016.. Voronezh, Russia, 2016.
6. Hinrichs, J., Dyrud, L. P., and Urbina, J. Diurnal variation of non-specular meteor trails // Annales Geophysical. 2009. Vol. 27(5.. P. 1961-1967.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.163

Лейсле А.В.<sup>1</sup>, Ковальский Е.Р.<sup>2</sup>, Карпов Г.Н.<sup>3</sup><sup>1,2,3</sup>Кандидат технических наук,

Санкт-Петербургский горный университет

*Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий  
в научно-технической сфере*

### ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕГАЗАЦИОННОЙ ПОДГОТОВКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА БАЗЕ ОЦЕНКИ ИЗВЛЕКАЕМОСТИ МЕТАНА

#### Аннотация

Высокая газоносность угольных пластов является сдерживающим фактором при обеспечении высокого уровня добычи. Мероприятия по дегазации угольных пластов зачастую оказываются малоэффективными ввиду сложности прогноза дебита дегазационных скважин. В статье предложен подход к оценке дебита дегазационных скважин, пробуренных с поверхности в углевлещающую толщу. Подход основан на расчете изменения объемных деформаций и коэффициента проницаемости подработанного углевлещающего массива с помощью численного моделирования.

**Ключевые слова:** дегазация, угольный пласт, метан, коэффициент проницаемости.

Leisle A.V.<sup>1</sup>, Kovalsky E.R.<sup>2</sup>, Karpov G.N.<sup>3</sup><sup>1,2,3</sup>PhD in Engineering, Saint-Petersburg Mining University

### SUBSTANTIATION OF COAL METHANE DRAINAGE PARAMETERS BY ESTIMATION OF RECOVERY EFFICIENCY

#### Abstract

High gas content in coal seams restrains high production rates at coalmines. Gas-drainage operations are often not efficient due to complications in prognosis of methane flow rates from drainage boreholes. In the article, an approach for estimation of methane flow rate from surface boreholes drilled to coal bearing formations is suggested. The approach utilizes calculations of volumetric strains and permeability coefficient with the help of numerical modelling.

**Keywords:** gas drainage, coal seam, methane, permeability ratio.

Увеличение объемов добычи угля подземным способом влечет за собой необходимость отработки более глубоких запасов, для которых характерно высокое метаносодержание (рис. 1). Это снижает безопасность отработки по газовому фактору и приводит к увеличению выбросов вредных газов в атмосферу.

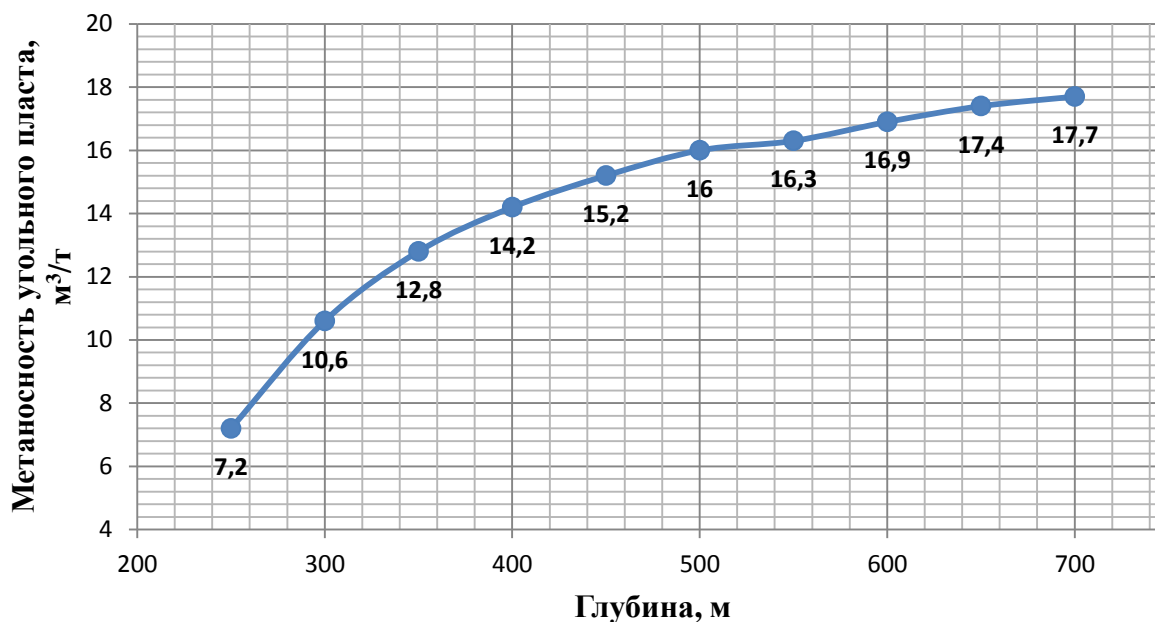


Рис. 1 – Увеличение метаносодержания в угольных пластах с ростом глубины (обобщенный график для условий Кузнецкого бассейна)

Для предприятий Кузнецкого угольного бассейна вопросы повышения эффективности и безопасности отработки стоят наиболее остро. Анализ деятельности угледобывающих предприятий района (Ерунаковский, Ленинский и Томь-Усинский геолого-экономические районы) показывает формирование тенденции к увеличению концентрации горных работ. На шахтах используется современное очистное оборудование, позволяющее достигать высоких нагрузок на забой, однако при увеличении глубины горных работ основным фактором, сдерживающим высокоинтенсивную отработку запасов, становится «газовый». Используемые способы борьбы с метановыделением позволяют обеспечить относительную метанобезопасность выемочных участков, но дальнейшее увеличение глубины отработки запасов (и, соответственно, газоносности пластов) потребует внедрения более эффективных дегазационных технологий.

Одним из наиболее изменчивых и сложно прогнозируемых параметров при дегазации угленосной толщи является дебит скважины. Его прогноз основывается на результатах экспериментальных работ на смежном участке и (или) на анализе опыта разработки угольных месторождений со сходными геолого-промысловыми характеристиками. Это затрудняет проектирование эффективных дегазационных технологий, в особенности в условиях изменения газодинамических характеристик углеводородящего массива в результате его подработки.

В настоящее время практически на всех предприятиях района, работающих по схеме «шахта-лава», проводится комплексная дегазация углеводородящей толщи. Технологическая схема включает в себя предварительную дегазацию отрабатываемого пласта пластовыми скважинами, дегазацию выработанного пространства скважинами, пробуренными с поверхности, дегазацию выработанного пространства скважинами с непогашаемой за лавой выработки и отвод метановоздушной смеси через целик из «кутка лавы».

Анализ работы пластовых скважин [1] показал, что их дебиты невысоки, но общий объем метана, извлекаемого ими, довольно значителен, так как период их работы составляет до 2 лет. Основным достоинством пластовой опережающей дегазации является высокое содержание метана в каптируемой смеси (до 90%). Суммарный дебит одной скважины в среднем составляет от 5 000 м³ до 25 000 м³. Время работы от 120 до 600 суток. Скорость извлечения метана из неразгруженного от горного давления пласта составляет порядка 15% в год. На долю пластовой дегазации приходится до 7-8% метана, содержащегося в свите, и до 25% от общего объема, извлеченного различными способами дегазации.

Для скважин с поверхности характерно довольно быстрое «затухание» скорости истечения метана. Усредненные зависимости снижения дебита могут иметь как линейный, так и логарифмический вид. Дебиты скважин до подработки составляют менее 0,001 м³/мин. После подработки (при отходе лавы на 10-50 м – от суток до 3 суток) в скважины начинает фильтроваться метан. Концентрация метановоздушной смеси изменяется от 10% до 80%, а дебиты метана от 1 до 35 м³/мин. Суммарный объем извлеченного одной скважиной метана составляет от 350 тыс. м³ до 4,5 млн. м³.

В проектно-нормативной документации [2] по проектированию вентиляции и дегазации на выемочных участках используется понятие «зона фильтрации» и приводятся зависимости коэффициента дегазации от размеров зоны фильтрации и расстояния между скважинами. В инструкции по дегазации приводятся основные схемы бурения скважин и параметры эффективности приведенных схем. Данные параметры могут отличаться от реально имеющихся на производстве в разы, причем как в большую, так и в меньшую сторону. В первую очередь это касается коэффициента эффективности и необходимого времени на дегазацию. Использование инструкции для расчета параметров технологических схем дегазации при их проектировании весьма затруднительно, ввиду отсутствия в расчетных формулах газодинамических характеристик, сильно меняющихся в условиях подработки или надработки угленосной толщи. При этом данные характеристики (пористость, проницаемость массива, удельная фильтрация) и их изменение при разгрузке массива горных пород являются определяющими при расчете дебита скважин.



Обобщенным параметром, наиболее полно характеризующим пористость или проницаемость горных пород, является объемная деформация. Для её определения на базе анализа горно-геологических условий залегания пластов были построены конечно-элементные модели угленосного массива (рис. 2).

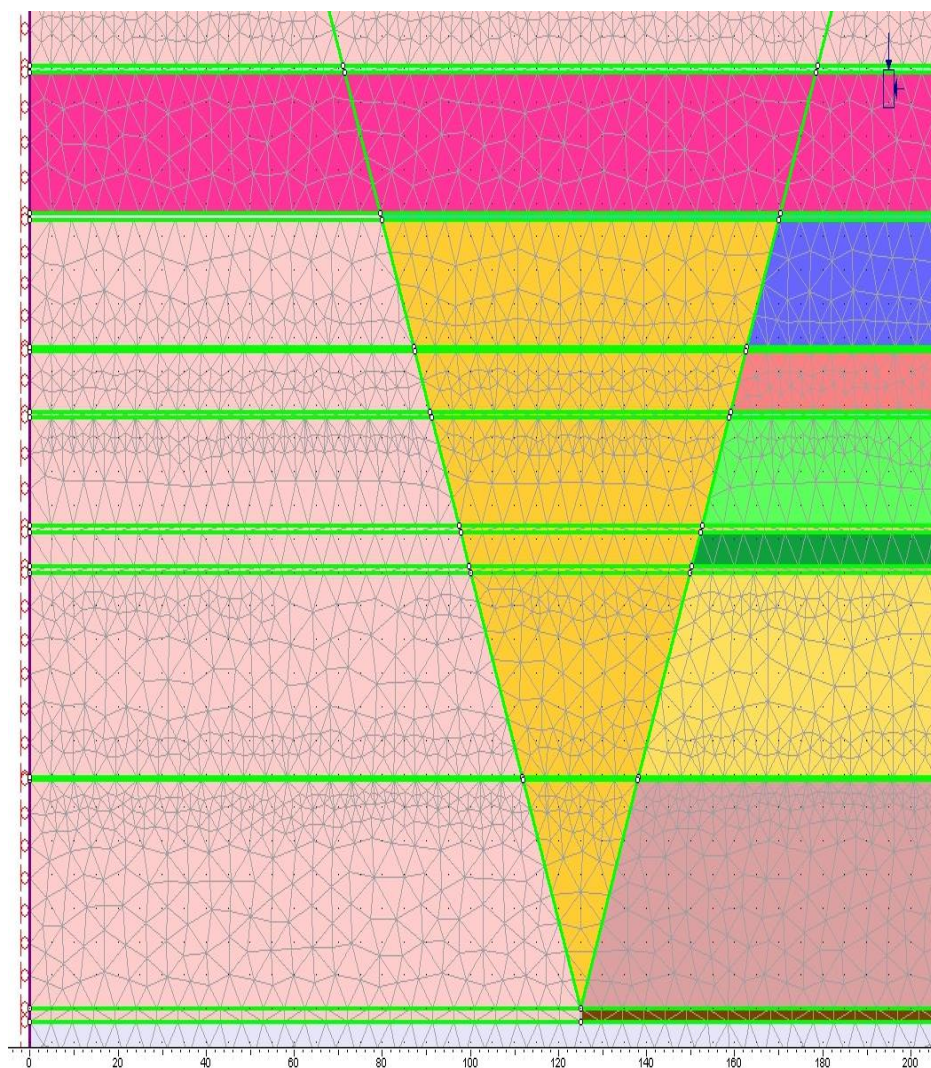


Рис. 2 – Пример конечно-элементной модели для оценки подработанности углевмещающего массива

Расчеты НДС проводились в постановке плоско-деформированного напряженного состояния для различных сечений по длине очистного забоя с учетом веса пород. При моделировании варьировался пролет выработанного пространства, мощность и деформационные характеристики обрушенных пород, а также глубина залегания пластов. Анализ результатов численного моделирования позволил предложить зависимость изменения объемной деформации в характерных зонах массива от глубины ведения горных работ и пролета выработанного пространства (ВП) (рис.3). Полученные зависимости позволили обосновать параметры дегазационных скважин.

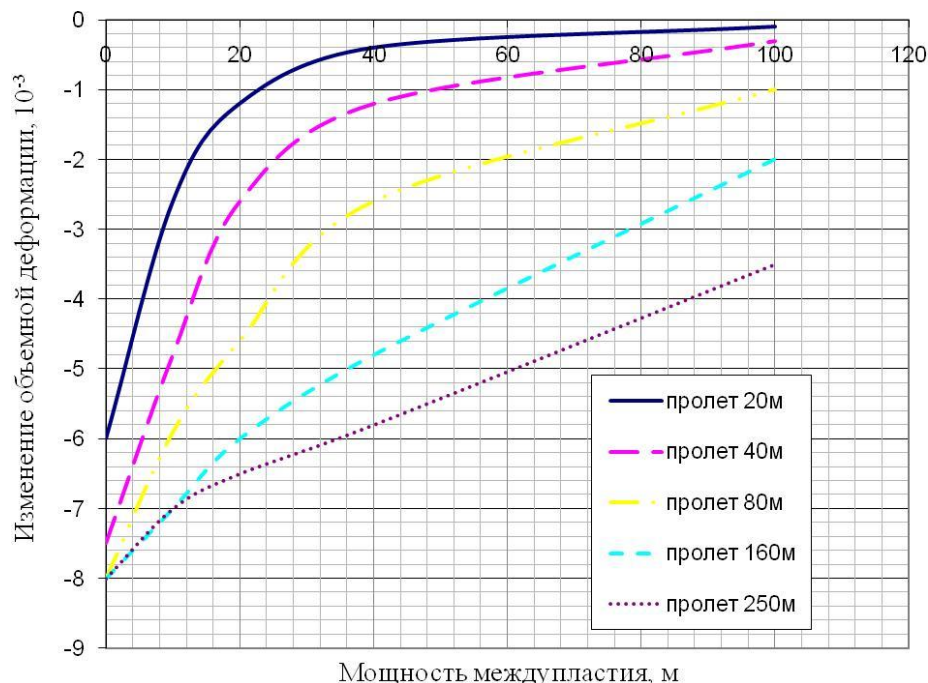


Рис. 3 – Изменение объёмной деформации от величины пролета выработанного пространства

Основными зависимостями для расчета дебита скважин являются два частных случая закона Дарси – для площадной фильтрации (ф.1) и фильтрации в скважину (ф.2) [3]:

$$I = k \cdot F \cdot \frac{\Delta P}{L \eta} \quad (1)$$

где  $k$  – проницаемость коллектора, Дарси;  $F$  – площадь фильтрации (свободной поверхности);  $\Delta P$  – разность давлений на пути фильтрации газа, Па;  $L$  – путь (расстояние) фильтрации газа, м;  $\eta$  – динамическая вязкость метана, сПуаз.

$$I = \frac{2\pi h k_{np} (P_C - P_K)}{\eta \ln \frac{r_K}{r_C}} \quad (2)$$

где  $(P_C - P_K)$  – разность давлений на поверхности скважины и поверхности фильтрующего контура;  $r_C$  и  $r_K$  – радиусы скважины и фильтрующего контура соответственно;  $2\pi h$  – площадь фильтрующей поверхности скважины.

Главным параметром, требующим обоснования в приведенных зависимостях, является проницаемость фильтрующей среды (зависящих пород, поверхности угольного пласта, обрушенных пород в ВП). Поскольку данный параметр существенно зависит от напряженно-деформированного состояния (НДС) фильтрующей среды и ее состояния (обрушенные породы или зависающие), то, соответственно, его надо определять для выделенных характерных зон в соответствии с установленными в результате моделирования зависимостями. Полученная зависимость имеет вид:

$$K_{cp} = K_0^{cp} + 104 \cdot 10^{-3} \cdot E \cdot \Delta \Theta (3 - 6\mu) \quad (3)$$

где  $K_{cp}$  – средняя проницаемость рассматриваемого участка массива, Дарси;  $K_0^{cp}$  – проницаемость пород в разгруженном состоянии, Дарси;  $E$  – модуль деформаций пород, МПа;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\Delta \Theta$  – приращение объемной деформации в рассматриваемой зоне.

Этапы деформирования и сдвижения подработанного массива могут быть схематизированы в рамках модели, представленной на рис. 4. В основу рассматриваемой модели положены классические представления о сдвижениях подработанного слоистого массива горных пород. В рамках общепринятой теории считается, что после прохода длинного очистного забоя породы непосредственной кровли (НК) пласта обрушаются с коэффициентом разрыхления 1,1-1,35. При отходе лавы на величину шага обрушения основной кровли (ОК) происходит ее обрушение крупными блоками (коэффициент разрыхления 1,05-1,1). Вышележащие породы «зависают» в выработанном пространстве в течение определенного времени и затем обрушаются (или «плавно опускаются»), пригружая своим весом породы почвы отработанного пласта. Вышележащие породы, соответственно, обрушаются более крупными блоками с меньшим коэффициентом разрыхления. Но даже при плавном опускании мощных слоев их трещиноватость значительно увеличивается.

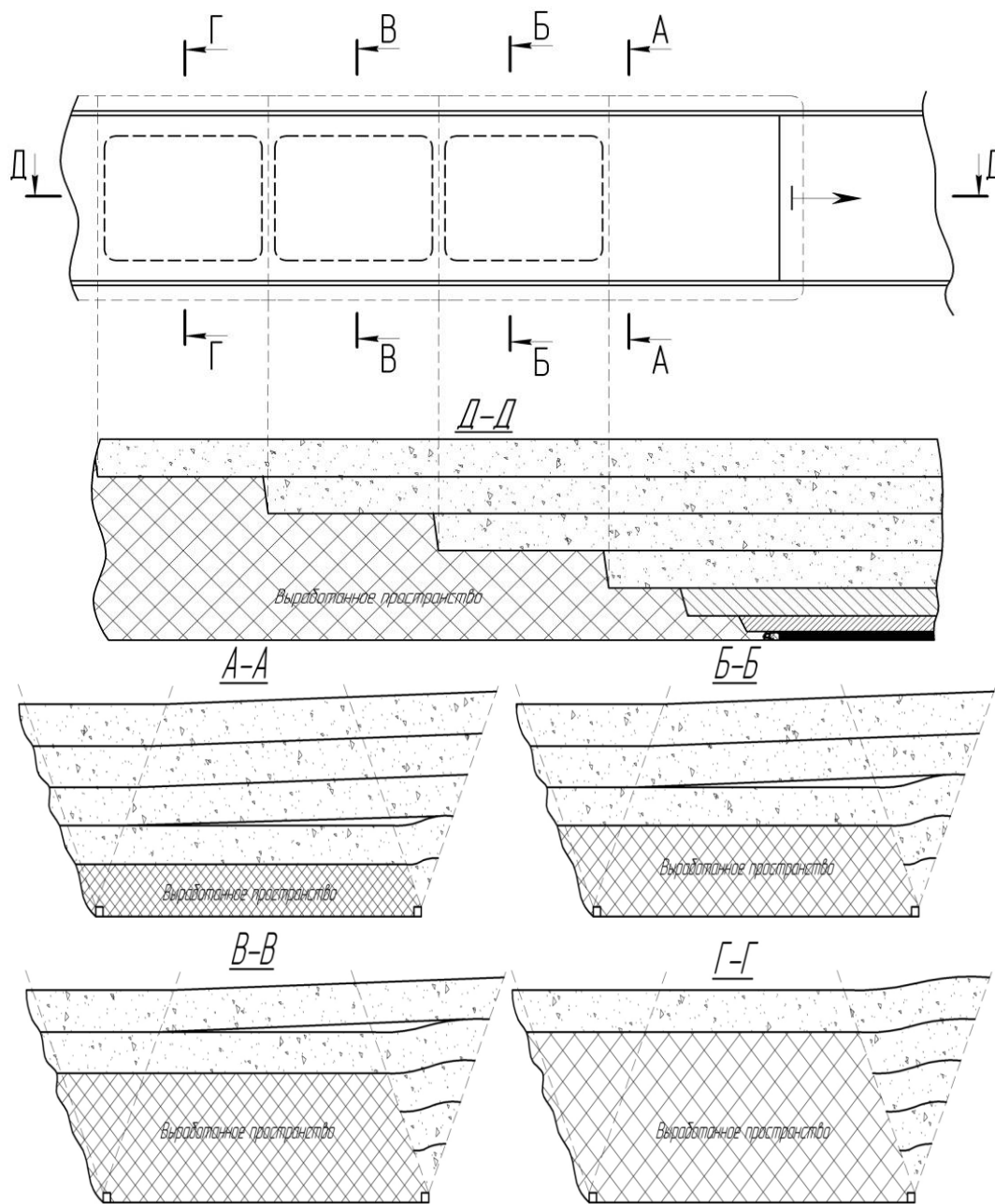


Рис. 4 - Схема обрушения налегающих слоев в выработанном пространстве.

Вертикальная скорость обрушения подработанных слоев составляет 50-100 м/мес, то есть осадочная толща мощностью более 100 м (за исключением пород НК и ОК) находится в «зависшем» состоянии более 1-2 месяцев. Это, в свою очередь, определяет время фильтрации (с постоянными параметрами проницаемости среды) комплекса обрушенных пород НК и ОК и упруго деформируемых (разгруженных от горного давления) пород почвы и кровли пласта.

Таким образом, для каждой характерной зоны (места расположения скважин) предлагается следующая методика для расчета дебита скважин при их расположении в зоне подработки (наработки). Для первой характерной зоны (рис. 4, разрез А-А) по длине выемочного столба производятся следующие расчеты:

- по результатам оценки НДС получают значения объемных деформаций по характерным зонам: в центре ВП на уровне залегания подработанных и наработанных пластов и в краевых частях массива;
- оценивается проницаемость характерных зон массива в функции их объемных деформаций по зависимости 3;
- оцениваются дебиты метанозаборных полостей с учетом площади фильтрующей поверхности, проницаемости среды, пути фильтрации и внутрипластовому давлению газа;
- по структуре подработанного МГП оцениваются мощности монолитных пачек и оценивается время их устойчивого состояния;
- с учетом времени устойчивого состояния системы (в функции мощности и физико-механических свойств «монолитных слоев») оценивается снижение дебита метана во времени и рассчитывается количество метана, капируемого метанозаборными полостями;
- оценивается остаточное количество метана в соответствующих пластах и вмещающих породах (обрушенных и устойчивых) – корректируется внутрипластовое давление для всех пластов;
- оцениваются мощности обрушенных пород, коэффициент их разрыхления в зависимости от литологического состава и оценивается их трещинная пустотность и проницаемость.



Все перечисленные расчеты повторяются после обрушения первого монолитного пакета пород (рис. 4, разрез Б-Б).

Разработанная методика позволяет рассчитать фильтрационные характеристики подработанных и надработанных слоев углевмещающего МГП при вариации расстояния до обрабатываемого пласта, оценивать их изменение во времени с учетом уплотнения обрушенных слоев и развития зон трещиноватости при сдвигении подработанного массива.

Проведенные исследования являются базовой составляющей разработки алгоритма проектирования дегазационных систем, в том числе и проектирования комплексной добычи угля и метана на перспективных площадях залегания высокогазоносных пологих пластов мощностью 2–5 м. Разрабатываемый алгоритм должен включать методику расчета дебита дегазационных скважин, расположенных в различных характерных зонах подработанного или надработанного углевмещающего МГП, и прогнозную оценку эффективности (технико-экономических показателей) рассматриваемых вариантов.

### Литература

1. Лейсле А.В. Анализ опыта дегазации выемочных участков, обрабатывающих высокогазоносные пласты Кузнецкого бассейна // Вестник ПНИПУ Геология. Нефтегазовое дело. Выпуск №2. ПНИПУ. Пермь. 2012 г. с. 115-120.
2. Инструкция по дегазации угольных шахт, утвержденная приказом Ростехнадзора от 01.12.2011 N 679 (ред. от 20.05.2015) (Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2011 № 22811).
3. Пучков Л.А. Извлечение метана из угольных пластов / Л.А. Пучков, С.В. Сластунов, К.С. Коликов. – М., МГГУ, 2002. – 383с.

### References

1. Leisle A.V. Analiz opyta degazacii vyemochnyh uchastkov, obrabatyvajushhih vysokogazonosnye plasty Kuzneckogo bassejna // Vestnik PNIPU Geologija. Neftgazovoe delo. Vypusk №2. PNIPU. Perm'. 2012 g. s. 115-120.
2. Instrukcija po degazacii ugot'nyh shaht, utverzhdenaja prikazom Rostehnadzor aot 01.12.2011 N 679 (red. ot 20.05.2015) (Zaregistrirovano v Minjuste Rossii 29.12.2011 № 22811).
3. Puchkov L.A. Izvlechenie metana iz ugot'nyh plastov / L.A. Puchkov, S.V. Slastunov, K.S. Kolikov. – M., MGGU, 2002. – 383 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.094

Марьенков С.А.

ORCID: 0000-0003-0010-1250, Аспирант,  
Санкт-Петербургский горный университет

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

### Аннотация

*За последние десятилетия наблюдается значительный рост доли возобновляемых источников электрической энергии (ВИЭ) в общем объеме генерирующих мощностей. Однако внедрение все большего числа ВИЭ ставит перед энергетической системой новые вызовы. Непостоянный характер генерации ВИЭ, а также постепенный переход от централизованной системы энергоснабжения к распределенной, ведут к уменьшению стабильности и надежности энергетической системы. Одним из признанных вариантов решения данной проблемы является применение систем накопления электрической энергии (НЭЭ). В статье проведен сравнительный анализ современных технологий НЭЭ и определены наиболее оптимальные варианты для применения на уровне распределенной генерации с участием ВИЭ.*

**Ключевые слова:** возобновляемые источники электрической энергии, накопители электрической энергии, суперконденсатор.

Marenkov S.A.

ORCID: 0000-0003-0010-1250, Postgraduate student,  
Saint-Petersburg Mining University

## APPLYING OF ELECTRICAL ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES TO INCREASE THE RELIABILITY OF POWER SYSTEM BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

### Abstract

*Over the past decade has seen a significant increase in the share of renewable energy sources (RES) in the total generating capacity. However, growing use of renewable energy sources (RES) sets a new challenges. Intermittent nature of generation RES, as well as a gradual transition from a centralized to a distributed power system, leading to a decrease in the stability and reliability of the energy system. As one of recognized solutions of this problem is to use the electrical energy storage systems. In this article analyzed comparative of modern technologies accumulation of electrical energy and determined the best options for application of distributed generation with RES.*

**Keywords:** renewable energy sources, energy storage system, supercapacitor.

### Введение

По прогнозам мирового экспертного сообщества и ведущих исследовательских институтов России в области электроэнергетики, одним из ключевых трендов определяющих дальнейшее развитие отрасли будет постепенное увеличение доли возобновляемых источников электрической энергии (ВИЭ) в общем объеме генерирующих мощностей.

Так, согласно данным статистической службы Европейского союза «Eurostat» суммарная доля ВИЭ в общем объеме генерации 28 стран Европейского союза с 2004 по 2014 год увеличилась с 14,4 до 27,5% (см. рисунок 1). По отчетам всемирной организации Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) прирост генерации от наиболее развивающихся типов ВИЭ за 2014 года, ветро- и солнечной энергетики составил 15,9 и 29,2%, соответственно. А инвестиции в научные исследования и разработку в области ВИЭ с 2004 по 2014 год выросли более чем в 2 раза (с 5,5 до 12,7 млрд. долларов).[1]

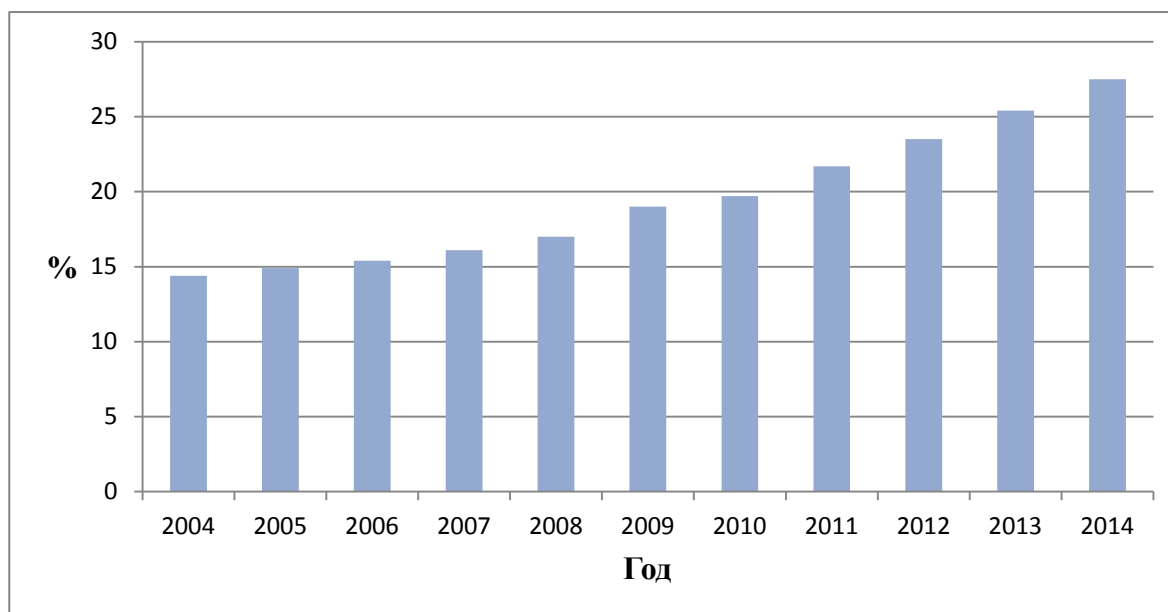


Рис.1 – Доля ВИЭ от общего количества генерируемой электрической энергии в Европейском союзе

Однако всё увеличивающаяся роль ВИЭ, характеризующихся непостоянством во времени, приводит к уменьшению стабильности, а в следствии и уменьшению надежности распределительных сетей. Одним из способов борьбы с данной проблемой является применение накопителей электрической энергии (НЭЭ). Целью данной статьи является анализ существующих технологий НЭЭ и оценка возможности их применения в электрических сетях с высоким уровнем внедрения ВИЭ.

#### Классификация накопителей электрической энергии

НЭЭ позволяют преобразовывать электрическую энергию в другие виды энергии, пригодные для хранения в определенном промежутки времени, с дальнейшей возможностью обратного преобразованию в электрическую энергию. Исходя из вышесказанного, можно разделить все НЭЭ по виду энергии, в котором происходит хранение (см. рисунок 2).

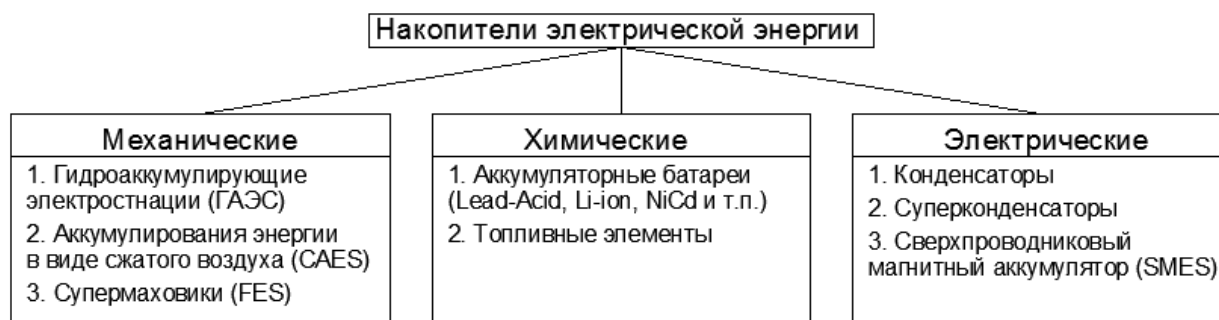


Рис. 2 – Классификация накопителей электрической энергии

Основные параметры исследуемых НЭЭ сведены в таблицы 1 и 2.

#### I. Накопители механической энергии

##### 1. Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС)

ГАЭС это технология НЭЭ с долгой историей. Первые ГАЭС появились в конце XIX века и к настоящему моменту являются НЭЭ с наибольшей энергетической емкостью. 99% запасаемой электрической энергии в мире приходится на ГАЭС.

В состав ГАЭС входят комплекс генераторов и насосов, либо обратимые гидрогенераторы. В часы ночного минимума потребления электрической энергии ГАЭС использует дешевую электроэнергию для перекачки воды в верхний бьеф. В периоды утреннего и вечернего максимумов энергопотребления ГАЭС вырабатывает дорогую электрическую энергию, сбрасывая воду в нижний бьеф.

Установленная мощность существующих ГАЭС варьируется от 1 до 3000МВт, при эффективности порядка 70-85% и эксплуатационном сроке службы до 40 лет.

## 2. Технология аккумулирования энергии в виде сжатого воздуха (CAES)

Аккумулирование энергии в виде сжатого воздуха осуществляется с помощью электрического компрессора, который под высоким давлением закачивает воздух в подземные полости естественного происхождения или специальные резервуары. Закачка происходит в ночное время, в часы с минимальным уровнем энергопотребления, а в часы максимума энергопотребления, накопленный сжатый воздух используют для работы турбогенератора. CAES технологии могут применяться как для хранения большого количества энергии (аналогично ГАЭС) при этом воздух закачивается в естественные хранилища, так и для локального использования, при этом воздух закачивается в искусственные резервуары.

Основным барьером на пути применения технологии CAES является поиск подходящего географического расположения хранилища и более низкая эффективность по сравнению с ГАЭС.

Развитием технологии CAES является AA-CAES, в которую интегрирован тепловой накопитель электрической энергии.

## 3. Супермаховик (FES)

Современная конструкция супермаховика обычно включает следующие компоненты: маховик, подшипники, электрический двигатель/генератор, вакуумная клетка. Накопления и высвобождения электрической энергии происходит за счет ускорения или замедления маховика. Количество запасенной энергии в супермаховике зависит от скорости вращения последнего. Все супермаховики можно условно разделить на 2 категории: низко (6000 об/мин.) и высоко (до 100000 об/мин.) скоростные. Супермаховики обладают высокой эффективностью, относительно высокой плотностью энергии.

В 2011 фирма Beacon Power ввела в эксплуатацию накопительную систему на базе супермаховиков общей установленной мощностью 20МВт. Задачей данной установки является быстросредействующее регулирование частоты сетевого напряжения.

## II. Химические накопители электрической энергии

### 1. Аккумуляторы

Аккумуляторные батареи одна из самых широко используемых технологий НЭЭ как в промышленности, так и в быту. Принцип работы аккумуляторов основан на обратимости протекания химических реакций. Самыми распространенными типами серийно выпускаемых аккумуляторных батарей являются: свинцово-кислотные, литий-ионные, никель-кадмиевые.

#### Свинцово-кислотные АКБ

Реагентами в свинцовых аккумуляторах служат диоксид свинца ( $PbO_2$ ) и свинец ( $Pb$ ), электролитом — раствор серной кислоты. По области применения свинцово-кислотные АКБ разделяют на следующие группы: стартерные (для пуска ДВС), стационарные (в качестве источников резервного питания), тяговые (электротранспорт) и портативные (питание инструментов, приборов).

#### Литий-ионные АКБ

В качестве отрицательного электрода используется углеродистый материал, в который обратимо внедряются ионы лития. Активным материалом положительного электрода обычно служит оксид кобальта, в который обратимо внедряются ионы лития. Электролитом является раствор соли лития в неводном апротонном растворителе. Аккумуляторы имеют большую удельную энергию, высокий ресурс и способны работать при низких температурах. К недостаткам можно отнести высокую стоимость, наклонную разрядную кривую и относительно большой саморазряд. Благодаря высокой удельной энергии их производство в последние годы резко возросло.

#### Никель-кадмиевые АКБ

Реагентами служат гидроксид никеля и кадмий, электролитом — раствор КОН, поэтому они также называются щелочными аккумуляторами. Основным преимуществом данного типа АКБ является высокий срок эксплуатации. Применяются для питания портативной аппаратуры.

## 2. Топливные элементы

Топливные элементы схожи по принципу действия с АКБ, но отличаются тем, что вещества участвующие в электрохимической реакции подаются извне. Так в водородных топливных элементах происходит превращение химической энергии водорода в электрическую энергию в обход процесса горения. Топливные элементы обладают высоким КПД и могут наравне с АКБ использоваться для буферного накопления энергии от ВИЭ. [4]

## III. Электрические накопители

### 1. Традиционные конденсаторы

Традиционные электролитические конденсаторы в простейшем случае представляют собой устройство для накопления энергии электрического поля, состоящее из двух электродов в форме пластин разделенные диэлектриком. Конденсаторы применяются для накопления малого количества электрической энергии и характеризуются высокой плотностью энергии и малым временем зарядки/разрядки.

### 2. Суперконденсаторы

Суперконденсаторы - это устройства, накопление электрической энергии в которых происходит благодаря заряду двойного электрического слоя. Этот слой образован поверхностью проводника и слоем прилегающих к нему ионов электролита. Двойной электрический слой можно рассматривать как конденсатор с двумя обкладками, емкость которого пропорциональна площади обкладок и обратно пропорциональна расстоянию между ними. Благодаря тому, что расстояние между заряженной поверхностью проводника из которого изготавливаются электроды и слоем ионов очень мало (измеряется ангстремами), а величина поверхности проводника (например, активированного угля) достигает 1500...2000 м<sup>2</sup>/г, емкость угольного электрода массой 1 г может составлять 100...500 Ф.

По основным параметрам суперконденсаторы занимают промежуточное положение между химическими источниками электрической энергии и обычными конденсаторами. Совместно с АКБ могут выступать в качестве гибридного накопителя электрической энергии, нивелирующего недостатки обоих элементов. [5]

### 3. Сверхпроводниковый магнитный аккумулятор (SMES)

Данный тип НЭЭ сохраняет энергию магнитного поля, созданную током, проходящим по соленоиду из сверхпроводящего материала, охлажденного до температуры ниже критической температуры сверхпроводимости. SMES является высокоэффективным НЭЭ с КПД более 95% и обладает малой задержкой времени между процессами зарядки и разрядки. В настоящий момент SMES накопители применяются в основном для управления качеством электрической энергии. [6]

Таблица 1 – Основные параметры НЭЭ

Технология	Плотность энергии, $10^3$ Втч/м <sup>3</sup>	Плотность мощности, $10^3$ Вт/м <sup>3</sup>	Удельная энергия, Втч/кг	Удельная мощность, Вт/кг	Номинальная мощность, МВт
Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС)	0,5-1,5	0,5-1,5	0,5-1,5	-	100-5000
Промышленные CAES установки	3-6	0,5-2	30-60	-	до 300
Супермаховик	20-80	1000-2000	10-30	400-1500	до 0,25
Свинцово-кислотные АКБ (Lead-acid)	50-80	10-400	30-50	75-300	до 20
Литий-ионные АКБ (Li-ion)	200-500	1500-10000	75-200	150-315	до 0,1
Никель кадмиевые АКБ (NiCd)	60-150	80-600	50-75	150-300	до 40
Топливная ячейка	500-3000	500	800-10000	500	до 50
Конденсатор	2-10	100000	0,05-5	100000	до 0,05
Суперконденсатор	10-30	100000	2,5-15	500-5000	до 0,3
SMES	0,2-2,5	1000-4000	0,5-5	500-2000	до 10

Таблица 2 – Дополнительные параметры НЭЭ

Технология	Номинальная емкость, МВтч	Саморазряд за день, %	Срок службы, лет	Кол-во циклов зарядки/разрядки, шт.	Эффективность цикла зарядки/разрядки, %
Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС)	500-8000	около 0	40-60	10000-30000	70-85
Промышленные CAES установки	до 1000	около 0	20-40	8000-12000	42
Супермаховик	до 5	более 20% за час	15	более 20000	90-95



Окончание табл. 2 – Дополнительные параметры НЭЭ

Технология	Номинальная емкость, МВтч	Саморазряд за день, %	Срок службы, лет	Кол-во циклов зарядки разрядки, шт.	Эффективность цикла зарядки/разрядки, %
Свинцово-кислотные АКБ (Lead-acid)	до 40	0,1-0,3	5-15	500-1000	70-80
Литий-ионные АКБ (Li-ion)	0,024	0,1-0,3	5-15	1000-10000	90-97
Никель кадмиевые АКБ (NiCd)	6,75	0,2-0,6	10-20	2000-2500	60-70
Топливная ячейка	0,312	около 0	5-15	1000	20-50
Конденсатор	-	40	5	50000	60-70
Суперконденсатор	0,0005	20-40	10-30	100000	90-97
SMES	0,0008	10-15	20	100000	95-97

### Заключение

В результате проведенного анализа различных технологий НЭЭ было выявлено:

1. Рост внедрения ВИЭ, ведущий к увеличению непостоянства генерируемой мощности в энергосистеме и уменьшению ее надежности, требует поиска эффективных решений для накопления электрической энергии на всех уровнях энергетической системы.
2. Накопители механической энергии характеризуются высокой установленной мощностью и инерционным характером. В настоящий момент основная область применения таких накопителей это крупные энергосистемы, в которых большую долю генерации составляют мощные тепловые и атомные электростанции, неспособные к мгновенному изменению количества вырабатываемой электрической энергии. Однако механические накопители также могут применяться и совместно с ВИЭ и в относительно малых сетях удаленных от централизованной энергетической системы.
3. Эффективным является комбинация химических и электрических НЭЭ, которая может применяться как в системах распределенной генерации на базе ВИЭ, так и в рамках централизованной энергетической системы с участием ВИЭ. Комбинация данных типов НЭЭ позволяет сочетать быстродействие электрических НЭЭ с высокой плотностью энергии химических НЭЭ.

### Литература

1. Renewables 2015. Global Status Report [Электронный ресурс] URL: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report>.
2. Bloomberg new energy finance [Электронный ресурс] URL: <http://www.pv.energytrends.com>.
3. Energy Technology perspectives 2012. Pathway to a Clean Energy System // IEA. – 2012.
4. Коровина Н.В., Скундина А.М. Химические источники тока. – М.: Издательство МЭИ, 2003.
5. Кузнецов В., Панькина, О. Конденсаторы с двойным электрическим слоем (ионисторы): разработка и производство // Компоненты и технологии. -2005. – №6.
6. Chen H, Cong TN, Yang W, Tan C, Li Y, Ding Y. Progress in electrical energy storage system: a critical review // Prog Nat Sci. – 2009. – 19. – С. 291–312.

### References

1. Renewables 2015. Global Status Report [Elektronnyj resurs] URL: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report>.
2. Bloomberg new energy finance [Elektronnyj resurs] URL: <http://www.pv.energytrends.com>.
3. Energy Technology perspectives 2012. Pathway to a Clean Energy System // IEA. – 2012.
4. Korovina N.V., Skundina A.M. Himicheskie istochniki toka. – M.: Izdatelstvo MEI, 2003.
5. Kuznecov V., Pankina, O. Kondensatory s dvojnym jelektricheskim sloem (ionistory): razrabotka i proizvodstvo // Komponenty i tehnologii. -2005. – №6.
6. Chen H, Cong TN, Yang W, Tan C, Li Y, Ding Y. Progress in electrical energy storage system: a critical review // Prog Nat Sci. – 2009. – 19. – С. 291–312.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.039

Матрунчик А.С.

ORCID: 0000-0003-0874-2933, ассистент,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНЕШНЕГО СГОРАНИЯ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ****Аннотация**

В данной статье рассмотрены перспективы использования двигателя внешнего сгорания для генерации электрической энергии из высокопотенциальных и низкопотенциальных источников энергии. Представлены основные достоинства и недостатки технологии использования двигателей Стирлинга, рассмотрен термодинамический принцип работы системы и ее эффективности. Проанализирован практический пример применения установки, использующей данный метод производства энергии, приведены технические способы повышения эффективности работы установки.

**Ключевые слова:** двигатель Стирлинга, отопление, горячее водоснабжение, энергосбережение, электрическая энергия, высокопотенциальные источники тепла, двигатель внешнего сгорания.

Matrunchik A.S.

ORCID: 0000-0003-0874-2933, assistant,

Perm National Research Polytechnic University

**EXTERNAL HEAT ENGINE USING FOR ELECTRICAL PRODUCTION****Abstract**

This article discusses the prospects for the use of an external combustion engine to generate electric power from the high potential and low potential energy sources. The main advantages and disadvantages of using the technology of Stirling engines, considered the thermodynamic principle of the system and its effectiveness. Analyzed a practical example of the application installation, using this method of energy production, provides technical ways of increasing the efficiency of the unit.

**Keywords:** Stirling engine, heating, hot water, energy conservation, electricity, high thermal sources, external combustion engine.

В настоящее время вопросы использования энергосберегающих технологий и возобновляемых энергетических ресурсов занимают ведущие позиции государственной политике России. Обладая гигантским запасом природного биоматериала, наша страна не использует весь его потенциал, а лишь рассматривает такие ресурсы как сырьё для экспорта [2]. Примерами устройств, которые могут из биоресурсов производить тепловую и электрическую энергию, являются устройства, использующие двигатель Стирлинга. Основной причиной возобновления интереса к двигателю этого типа, изобретенному еще в 1816г., являются его серьезные положительные стороны [1]:

- 1) возможность использования различных источников теплоты с высоким и низким температурным потенциалом;
  - 2) высокая экономичность двигателя;
  - 3) многофункциональность двигателя (кроме основного назначения возможна работа в холодильной машине)
  - 4) низкий уровень токсичности и дымности удаляемых газов при условии использования углеводородных топлив;
  - 5) работа двигателя не зависит от наличия атмосферы (существует перспектива использования систем данной технологии при работе на глубинах океана и в космосе);
  - 6) показатели по шуму и вибрации ниже, чем у других двигателей;
- Стоит также упомянуть и о слабых сторонах этого механизма:
- 1) относительная сложность производства;
  - 2) высокая цена производства из-за высокой металлоемкости;
  - 3) показатель полезного действия ниже, чем у двигателей внутреннего сгорания.

Двигатель Стирлинга использует принцип температурного расширения: рабочее тело расширяется при повышении температуры и сжимается при ее понижении. Принципиальным отличием двигателя с внутренним сгоранием рабочего вещества и двигателя внешнего сгорания, является способ подвода теплоты, который происходит через теплообменник между холодной и теплой стенкой, что означает постоянную замкнутость рабочего тела.

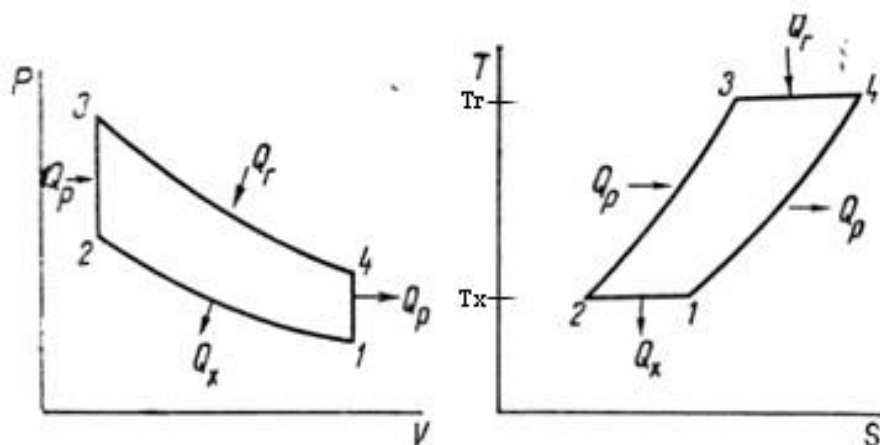


Рис. 1 – Термодинамический цикл Стирлинга

Термодинамический цикл, предложенный Стирлингом (рис. 1), включает в себя два процесса при неизменяемой температуре и два процесса при неизменяемом объеме рабочего вещества системы: 1-2 – потеря объема рабочим веществом по изотерме температуры  $T_x$  с отводом объема теплоты  $Q_x$ , 2-3 – изохорический перенос теплового объема для рабочего тела, 3-4 – расширение рабочего вещества по изотерме температуры  $T_c$  с подводом объема теплоты  $Q_c$ , 4-1 – изохорический отвод теплоты рабочего вещества.

Термодинамический цикл Роберта Стирлинга является обобщенным циклом Карно, следовательно их термический КПД будет совпадать:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_x}{T_c} \quad (1)$$

По конструктивным характеристикам двигателя Стирлинга подразделяются на альфа-модификацию, бета-модификацию и гамма-модификацию [1]. Производство механизмов на основе двигателей Стирлинга существует, но в них используется только высококалорийное топливо (например, газ) – в этом случае, при использовании высокопотенциального топлива преимущества устройств, использующих технологию двигателя Стирлинга, незначительны в сравнении с двигателями внутреннего сгорания.

Анализ серийно производимых машин Стирлинга, как двигателей, так и холодильных машин, показывает, что большинство современных компаний пытаются вывести на рынок либо лицензированные, либо модернизированные копии машин, ранее разработанных голландской компанией «Philips». Но такой подход может привести только к одному: копированию уже существующих технических решений, а, следовательно, к созданию морально устаревшей техники. Именно этим объясняются невысокие показатели эффективности и ограниченный ряд по мощности большинства существующих машин Стирлинга.

В настоящее время быстрыми темпами развивается малоэтажное коттеджное строительство и возведение «таунхаусов» (один дом – одна система ГВС и отопления), а также системы локального поэтажного отопления в многоквартирных жилых домах. Зачастую, и в первом, и во втором случае, для нагрева воды на отопление и горячее водоснабжение используется газовый котел, от которого отводятся продукты сгорания. Утилизация теплоты уходящих дымовых газов от котла и использование ее в двигателе Стирлинга для генерации дополнительной электрической энергии значительно увеличит энергетическую эффективность системы отопления или горячего водоснабжения (рис. 2).

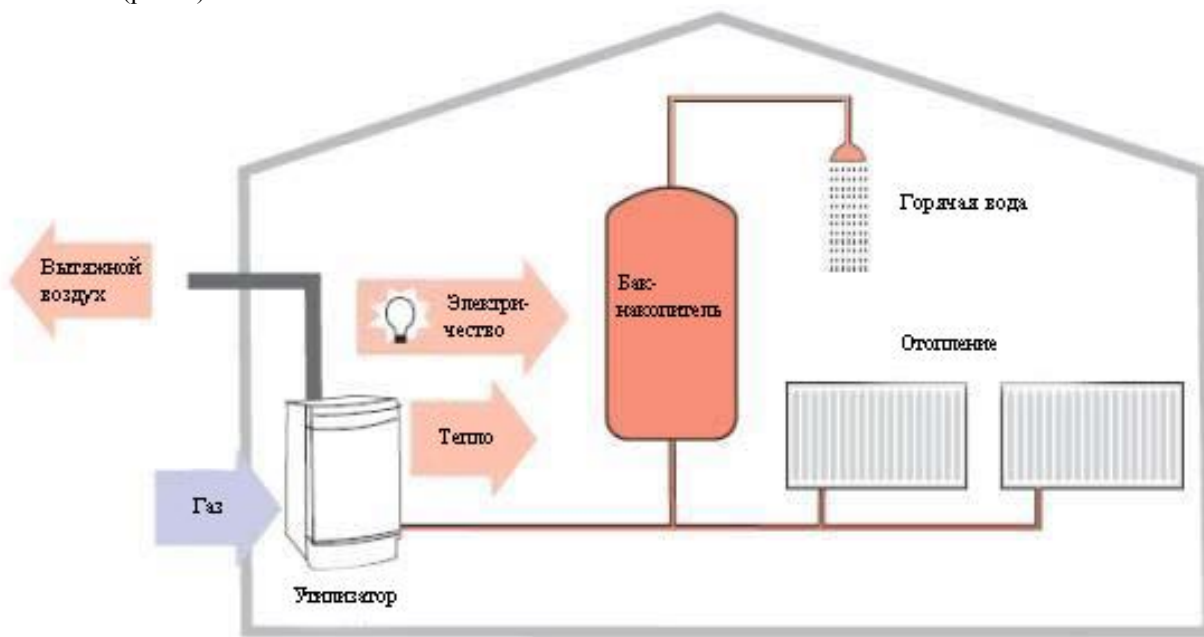


Рис. 2 – Схема установки с утилизатором

Принцип действия устройства: в конструкцию газового котла помещают двигатель Стирлинга бета-модификации, использующую один цилиндр, горячий с одного конца и холодный с другого. Материал, используемый в данной конструкции должен иметь хорошую теплопроводность. Одну часть конструкции помещают в объем дымовой трубы для уходящих газов высокой температуры, к другой подводят контур холодного водоснабжения, который дает небольшой нагрев воде, идущей в горячий контур, тем самым снижая нагрузку на тепловую производительность, и понижая температуру «холодной» части конструкции двигателя. Рабочее тело, попеременно сжимаясь и разжимаясь, будет двигать поршень, подключенный к генератору электрической энергии. Разность температур при этом процессе будет довольно высока, а если учесть тот факт, что уходящие дымовые газы обычно вообще никак не используют, данным способом можно аккумулировать около 80-90% теплоты уходящих дымовых газов, превратив их в электроэнергию с КПД 20-30%, что могло бы хватить на освещение жилого дома и подключение нескольких бытовых приборов-потребителей электроэнергии. Примером такого устройства является установка WhisperGen. Данное устройство и приготавливает теплоноситель для нужд горячего водоснабжения и отопления, и утилизирует тепло уходящих дымовых газов. WhisperGen microCHP имеет размеры сравнимые с посудомоечной машиной. Из-за того, что все находится в одном блоке, удастся избежать потерь теплоты при движении дымовых газов. Природный газ

сжигается в камере сгорания. Камера установлена в верхней части конструкции. Вода проходит в водяной рубашке двигателя, где она нагревается и обеспечивает охлаждение для двигателя. При высоком теплоснабжении вспомогательная горелка обеспечивает дополнительный нагрев. Двигатель имеет четыре поршня, рабочее тело – азот. Технические испытания установки проводились на серии одинаковых образцов. Основные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний

Количество устройств, шт	Суммарное время работы, ч	Выработано электроэнергии, кВт*ч
62	92730	79317

Устройство имеет среднее значение полезной мощности около 1,3 кВт.

Развитие и внедрение двигателей Стирлинга напрямую связано с использованием в качестве источника подводимого тепла низкокалорийного топлива, такого как уголь и древесина, потому что при использовании высококалорийных топлив, таких как нефтепродукты или газ, показатель КПД установки, использующее двигатель внутреннего сгорания будет выше. Перспективность исследований двигателей с внешним подводом тепла в России обусловлены недостаточным оснащением сетями энергоснабжения удаленных районов и территорий, на которых содержится большое количество доступной природной биомассы. Например, используя данную технологию в северных районах страны, можно добиться энергетической автономности хозяйств и людей от централизованных сетей снабжения электроэнергией.

#### Литература

1. Г. Ридер, Ч. Хупер. Двигатели Стирлинга. М.: Мир, 1986. – 464с
2. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии М.: ИП РадиоСофт, 2008. - 228 с.

#### References

1. T. Reader, C. Hooper. Stirling engines. M.: Mir, 1986. – 464 p.
2. Sibikin Yu.D., Sibikin M.Yu. Netraditsionnye vozobnovliaemye istochniki energii M.: IP RadioSoft, 2008. - 228 p.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.191

Меланич В.М.<sup>1</sup>, Бойчук С.В.<sup>2</sup>, Лавриненко Ю.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-8926-8569, Кандидат технических наук, доцент,

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-5796-6848, Соискатель, <sup>3</sup>ORCID: 0000-0001-8455-9730, Кандидат технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

#### ЭНЕРГИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В БАЛОЧНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

#### Аннотация

На основе конечно-элементной модели рассматриваются вопросы распространения акустических волн в регулярных системах. Основные параметры волнового процесса описываются с помощью собственных векторов переходной матрицы. Получены выражения средней плотности потока энергии волны, анализ которых определяет случаи нераспространения, отражения, искажения волн. По результатам численного моделирования построены дисперсионные зависимости для различных моделей линейных балочных систем регулярной структуры.

**Ключевые слова:** волны, регулярная система, поток энергии волны, коэффициент затухания волны.

Melanich V.M.<sup>1</sup>, Boychuk S.V.<sup>2</sup>, Lavrinenko Y.A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-8926-8569, PhD in Engineering, associate professor,

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-5796-6848, Postgraduate student, <sup>3</sup>ORCID: 0000-0001-8455-9730, PhD in Engineering, Federal State Autonomous Institution of Higher Professional Education "National Research Nuclear University "MEPHI"

#### ENERGY PROPAGATION BY FREE WAVES IN PERIODIC TRUSS STRUCTURES

#### Abstract

On the basis of the finite element model deals with the propagation of acoustic waves in the regular systems. The main parameters of the wave process are described by eigenvectors of the transition matrix. Expressions average wave energy flux density, the analysis of which determines the cases of non-proliferation, reflection, wave distortion. According to the results of numerical modeling of dispersion curves built for different models of linear beam systems of regular structure.

**Keywords:** wave, a regular system of wave energy flux, wave attenuation coefficient.

Среди большого многообразия конструкций, применяемых в различных областях техники, строительстве, особое место занимают стержневые системы регулярной структуры. Примерами таких конструкций могут служить силовые каркасы летательных аппаратов и промышленных зданий, конструкции мостов и антенных устройств различного назначения.

Одним из перспективных направлений применения конструкций такого рода является создание крупногабаритных стержневых космических систем, которые оснащаются адаптивными силовыми элементами с целью устранения нежелательных деформаций всей конструкции или ее частей.

Такие регулярные системы, т.е. системы с повторяющимися однотипными элементами формируются из подсистем, соединенных между собой дискретным образом. Предполагается, что соединение осуществляется в конечном числе узлов. Движение каждого узла в подсистеме задается посредством набора степеней свободы, включающего, например, перемещения и углы поворота. Это означает, что при распространении акустических волн в подсистеме возникают соответствующие этим степеням свободы силы, действующие на нее со стороны остальных компонент системы.

Плотность потока энергии волн определяется выражением:

$$p(t) = \frac{\partial q(x,t)}{\partial t} \cdot R(x,t). \quad (1)$$

Воспользуемся тождеством:

$$[Re(ae^{i\alpha}) \cdot Re(be^{i\beta})] = \frac{1}{2}|ab| \cos(\alpha - \beta) = \frac{1}{2}Re(a^* \cdot b),$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  - аргументы комплексных чисел  $a$  и  $b$ :

$$a = |a| \exp(i\alpha); \quad b = |b| \exp(i\beta).$$

$$\text{имеем: } p(t) = Re(ve^{i\omega t}) \cdot Re(R \cdot e^{i\omega t}) = Re(\dot{q}e^{i\omega t}) \cdot Re(R \cdot e^{i\omega t}) = \\ Re(i\omega qe^{i\omega t}) \cdot Re(R \cdot e^{i\omega t}).$$

Здесь подразумеваются действительные части используемых комплексных величин  $q(x,t)$  и  $R(x,t)$ , где  $q(x,t)$  и  $R(x,t)$  – векторы обобщенных перемещений и обобщенных сил, соответствующие степеням свободы в точках соединения подсистем.

Представляет интерес среднее за период  $T$  значение плотности потока энергии волн:  $p_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$

или

$$p_{cp} = \frac{1}{2} Re(i\omega [q]^* \{R\}). \quad (2)$$

Уравнение волнового процесса в подсистеме имеет вид [1]:

$$\begin{bmatrix} D_{aa} & D_{ab} \\ D_{ba} & D_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_a \\ q_b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_a \\ R_b \end{Bmatrix}. \quad (3)$$

Используя волновые соотношения [1]:

$$\{q_b\} = e^\eta \{q_a\} \text{ и } \{R_b\} = -e^\eta \{R_a\}, \text{ после преобразования получим:}$$

$$[D_{aa} + D_{bb} + e^\eta D_{ab} + e^{-\eta} D_{ba}] \{q_a\} = 0. \quad (4)$$

Введем вспомогательные матрицы:

$$\alpha_s = \frac{1}{2}(D_{ab} + D_{ba}) - \text{симметрическая.}$$

$$\alpha_c = \frac{1}{2}(D_{ab} - D_{ba}) - \text{кососимметрическая, тогда (4) запишется в виде:}$$

$$[D_{aa} + D_{bb} + e^\eta (\alpha_s + \alpha_c) + e^{-\eta} (\alpha_s - \alpha_c)] \{q_a\} = 0.$$

Из (3) рассмотрим первое уравнение:

$$[D_{aa} + e^\eta D_{ab}] \{q_a\} = \{R_a\}. \quad (5)$$

Для  $j^{\text{ой}}$  волны запишем:  $\{q_{aj}\}$  и  $\{R_{aj}\}$ , тогда (5) имеет вид:

$$[D_{aa} + e^{\eta_j} D_{ab}] \{q_{aj}\} = \{R_{aj}\}. \quad (6)$$

С учетом (6) получим выражение для средней плотности потока энергии волн:

$$p_{cp} = \frac{1}{2} Re(i\omega [q^*_{aj}] [D_{aa} + e^{\eta_j} D_{ab}] \{q_{aj}\},$$

или

$$p_{cp} = \frac{1}{2} Re(i\omega [q^*_{aj}] [D_{aa} + e^{\eta_j} (\alpha_s + \alpha_c)] \{q_{aj}\}) \quad (7)$$

Так как  $D_{aa}$  и  $\alpha_s$  – действительные и симметрические матрицы, имеем:

$$[q^*_{aj}] [D_{aa}] \{q_{aj}\} = A, [q^*_{aj}] [\alpha_s] \{q_{aj}\} = B, \quad (8)$$

где  $A$  и  $B$  – действительные числа,

$\alpha_s$  – действительная и кососимметрическая матрица, тогда произведение

$$[q^*_{aj}] [\alpha_s] \{q_{aj}\} = iC - \text{мнимое число} \quad (9)$$

Исследуем зависимость плотности потока энергии волны от значений коэффициента распространения  $j^{\text{ой}}$  волны  $\eta_j(\omega)_j$ . Умножим (4) на  $[q^*_{aj}]$  и, обозначив  $[q^*_{aj}] [D_{aa} + D_{bb}] \{q_{aj}\} = D$ , получим:

$$D + e^{\eta_j} B + e^{\eta_j} iC + e^{-\eta_j} B - e^{-\eta_j} iC = 0. \quad (10)$$

Умножив (10) на  $e^{\eta_j}$ , преобразуем к квадратному уравнению:

$$e^{2\eta_j} (B + iC) + e^{\eta_j} D + (B - iC) = 0,$$

решение которого:

$$e^{\eta j} = \frac{-D \pm \sqrt{D^2 - 4(B^2 + C^2)}}{2(B + iC)} = \frac{(-D \pm \sqrt{D^2 - 4(B^2 + C^2)})(B - iC)}{2(B + iC)} \quad (11)$$

Средняя плотность потока энергии волны из (7):

$$p_{cp} = \frac{1}{2} Re(i\omega [A + e^{\eta j} (B + iC)]) \quad (12)$$

Подставив (11) в (12), получим:

$$p_{cp} = \frac{1}{2} Re \left( i\omega \left[ A + \frac{(-D \pm \sqrt{D^2 - 4(B^2 + C^2)})(B - iC)}{2(B + iC)} (B + iC) \right] \right) = \frac{1}{2} Re \left( i\omega \left[ A + \frac{1}{2} - D \pm \sqrt{D^2 - 4(B^2 + C^2)} \right] \right) = Re \left( \frac{1}{2} i\omega A - \frac{1}{4} i\omega D \pm \frac{1}{4} i\omega \sqrt{D^2 - 4(B^2 + C^2)} \right). \quad (13)$$

В данном выражении  $A$ ,  $D$  и  $W$  – действительные числа.

Если фазовая скорость распространения волны зависит от частоты, то волны распространяются с дисперсией: по мере распространения сигнала по элементу происходит его искажение. Важный тип дисперсии наблюдается в элементах ферменного типа: для них существуют диапазоны частот, в пределах которых эти элементы практически непрозрачны. В этом случае средний поток энергии волны стремится к нулю.

Выявим случаи нераспространения волн в рассматриваемых регулярных системах.

Для проводимого анализа наличие в (13) двух первых слагаемых необязательно, тогда:

$$\bar{p}_{cp} = \frac{w}{4} Re \left( \pm i \sqrt{D^2 - 4(B^2 + C^2)} \right). \quad (14)$$

Пусть  $e^{\eta j}$  – действительное число, тогда из (4) следует, что  $\{q_{aj}\}$  – действительный вектор. Из уравнения (9) –  $C=0$ , тогда:

$$e^{\eta j} = \frac{-D \pm \sqrt{D^2 - 4B^2}}{2B},$$

При  $e^{\eta j}$  действительном, необходимо чтобы  $D^2 \geq 4B^2$ , тогда из (13) средняя плотность потока энергии  $j^{\text{ой}}$  волны, проходящей через определенное сечение подсистемы  $p_{cp}=0$ . В этом случае коэффициент распространения  $j^{\text{ой}}$  волны:  $\eta_j(w) = \alpha_j(w) + ik_j(w)$  имеет только действительную часть, определяемую коэффициентом затухания  $\alpha_j(w)$  (имеет место поглощение энергии волны и переход ее во внутреннюю энергию среды) или только мнимую часть (случай полного внутреннего отражения волны).

Пусть  $e^{\eta j}$  – комплексное число, тогда при  $D^2 < 4(B^2 + C^2)$  имеем  $|e^{\eta j}| = 1$ .

Возможны варианты:

а)  $\eta_j(w)$  – мнимая величина, т.е.  $\eta_j(w) = +ik_j(w)$ .

В этом случае плотность потока энергии волны равна:

$$\bar{p} = \pm \frac{w}{4} \sqrt{4(B^2 + C^2)} \neq 0 \text{ – т.е. } j^{\text{я}} \text{ волна проходит через рассматриваемое сечение системы.}$$

Если  $\eta_j(w) = +i\pi(w)$ ,  $e^{\eta j} = -1$  – имеем полное внутреннее отражение волны.

б)  $\eta_j(w) = \alpha_j(w) + ik_j(w)$  – комплексная величина. В этом случае наблюдается диссипация волнового сигнала, распространяющегося по элементу. Это характерно в зоне перехода от зон не прохождения волны к зонам, где волны распространяются.

Используя рассмотренный выше алгоритм определения коэффициентов распространения волн, получим дисперсионные зависимости решетчатой балки регулярной структуры (рис. 1).

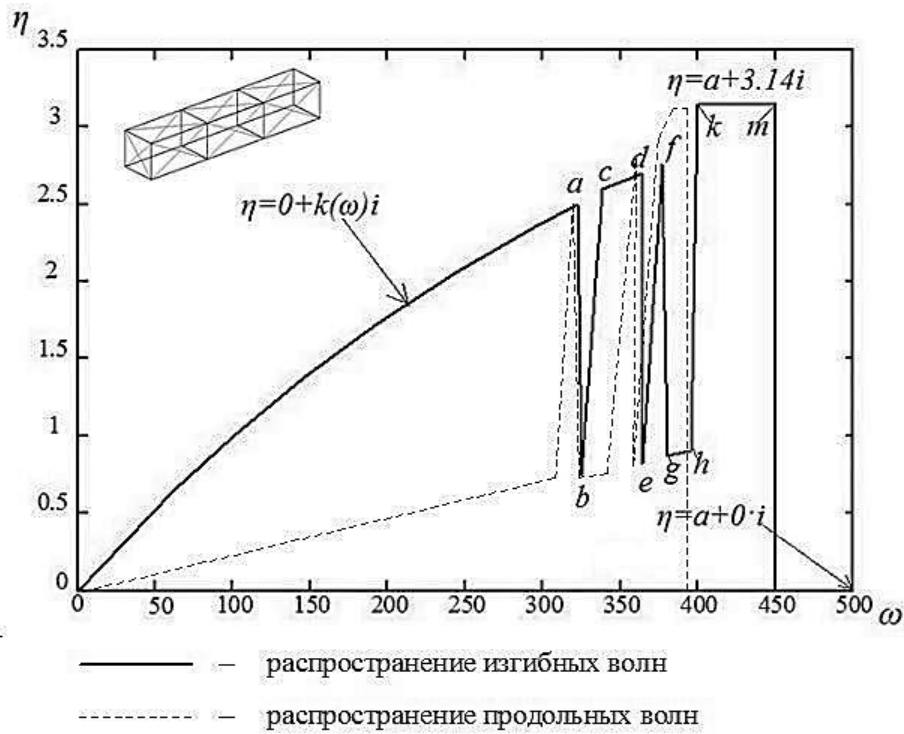


Рис. 1 – Дисперсионные зависимости для балки регулярной структуры

При рассмотрении регулярных балочных систем конечной длины необходимо учитывать соединения внутри конструкций и наличие граничных условий.

Вектор переменных состояния  $Y(w)$ , трансформируем в вектор волновых модальных координат:

$$Y(w) = T(w) \cdot W, \quad (15)$$

где  $W$  – вектор переменных состояния в модальных координатах,

$T(w)$  – матрица собственных векторов переходной матрицы  $H$ .

Вектор  $W$  разделим на элементы, представляющие волны, распространяющиеся вправо  $W^+$  и влево  $W^-$  от рассматриваемого сечения:

$$W = \begin{bmatrix} W^+ \\ W^- \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Через элементы регулярной системы волны подходят к границе (внутреннему соединению) и уходят от нее. Обозначим векторы амплитуд этих волн соответственно  $a$  и  $d$  (рис. 2).

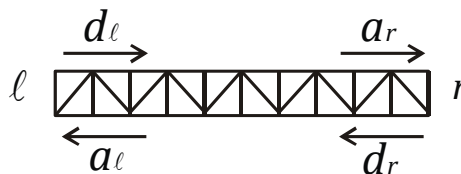


Рис. 2 – Обозначение векторов амплитуд

Амплитуды  $a$  и  $d$  связаны через собственные значения  $\xi(w)$  переходной матрицы  $H(w)$ :

$$a_r = \xi^n d_{\lambda\lambda\lambda\lambda} \lambda,$$

$$a_r = \xi^n d_{r\lambda\lambda\lambda\lambda} \lambda,$$

(17)

где  $n$  – число подсистем (панелей) в системе между границами  $\ell$  и  $r$ . Граничные условия для конечной конструкции запишем в виде:

$$B(w), [B(w)]Y = F(w), \quad (18)$$

матрицы граничных связей внешней узловой нагрузки.

Уравнение (18) в модальных координатах:

$$[B_a(w)B_d(w)]\begin{Bmatrix} a \\ d \end{Bmatrix} = F(w), \quad (19)$$

$$\text{или } B_a(w) \cdot a + B_d(w) \cdot d = F(w),$$

$$d = -B_d^{-1}(w) \cdot B_a(w) \cdot a + B_d^{-1}(w) \cdot F(w).$$



Обозначив  $S(w) = -B_d^{-1}(w) \cdot B_a(w)$ ,  
получим

$$d = S(w) \cdot a + B_d^{-1}(w) \cdot F(w), \quad (20)$$

где  $S(w)$  – матрица рассеяния волн в связях на границах системы. Матрицы  $S(w)$  и  $B_d^{-1}(w)$ , описывающие динамические свойства связей, зависят от параметров передачи (распространения волны) на границах системы.

При отсутствии внешних сил в рассматриваемом поперечном сечении  $F(w) = 0$ , имеем  $d = S(w) \cdot a$ .  
(21)

Таким образом, располагая описанием динамических характеристик элементов конструкции и связей на границах можно построить ее полную динамическую модель в частной или временной областях.

Рассматривая переходные процессы в регулярных системах можно получить возможность особого подхода к управлению возникающих динамических процессов – на основе модификации характеристик распространения волн в тех или иных выбранных участках конструкции с целью управления.

#### Литература

1. Определение динамических характеристик волновых процессов в линейных регулярных системах // Меланич В.М. // Universum: Технические науки: электрон. науч. журн. 2015. №7 (19).

#### References

1. Determination of the dynamic characteristics of wave propagation in linear regular systems // Melanich V.M. // Universum: Engineering science : the electron. scientific. Zh. 2015. №7 (19).

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.155

Михайловский А.И.<sup>1</sup>, Мамедов Р.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Аспирант,

<sup>2</sup>Доктор технических наук,

Университет ИТМО

#### РАЗРАБОТКА СХЕМ ЮСТИРОВКИ И КОНТРОЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО И ПЕЛЕНГАЦИОННОГО КАНАЛА ДЛЯ МОДУЛЯ МЕЖСПУТНИКОВОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

#### Аннотация

Рассматривается пеленгационный и информационный блок для модуля межспутниковой линии связи (МЛС), предназначенный для приема лазерного оптического излучения с модуля-передатчика с другого МЛС. Приведены результаты разработки схем юстировки и контроля для наиболее влияющих на качество изображения компонентов блока. Таких как контроль зеркального фотографического объектива на этапе сборки, юстировочная схема интерференционного светоделиителя, юстировка приемного канала в виде перемещения оптоволокну относительно оптической оси.

**Ключевые слова:** оптическая связь, юстировка, пзс-матрицы, контроль положения.

Mihajlovskij A.I.<sup>1</sup>, Mamedov R.K.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Postgraduate student, <sup>2</sup>PhD in Engineering,

ITMO University

#### CREATION OF ADJUSTMENT AND CONTROL SCHEMES OF THE INFORMATION AND THE DIRECT-FINDING CHANNEL OF THE INTER-SATELLITE COMMUNICATION LINK MODULE

#### Abstract

The article discusses the direct-finding and information unit of the inter-satellite communication link module (ISCL) designed for receiving laser radiation from the transmitter module of another MLS. Consider the results of the design of adjustment and control schemes of most affecting the image quality. Such as control of of specular photographic objective at the assembly stage, the interference beam splitter adjustment schema, the receiving channel alignment by the movement of the fiber relatively to the optical axis.

**Keywords:** optical communication, alignment, CCD, positioning control.

Для стабильного и надежного функционирования информационно-пеленгационного канала межспутниковой системы связи необходимы контроль и юстировка положения зеркал, спектроделительной пластины и положения оптоволокну относительно оптической оси. Для устранения недостатков конструкции (с сохранением её оптической схемы) представляется логичным введение регулировочных устройств, а также контроль каждого элемента системы и обеспечение доступа к ним без разборки узла.

#### Контроль зеркальной системы

В нашей схеме будет использована система Ричи-Кретьена. Оба зеркала являются гиперболическими и строят хорошего качества изображение, однако данная система обладает значительным астигматизмом, для чего желательно использовать дополнительный линзовый корректор для его устранения.

Так как точность выполнения всех деталей будет обеспечена технологическими возможностями оборудования, а дополнительные приспособления необходимые для юстировки блока будут увеличивать его вес, то необходим только контроль пятен рассеяния после сборки обоих зеркал в корпусе и зажиме их оправой, соответственно. Для контроля пятен рассеяния фотографического объектива необходима скамья, автоколлиматор, маломощный источник когерентного излучения 660 нм, сам блок без установленного туда светоделиителя, пластины и линзового

корректора.[1-5] Со стороны наблюдателя будет микроскоп, позволяющий навестись на пятно фокусировки зеркального объектива.

Для такого метода необходимо некоторые расчеты, позволяющие точно определить форму пятна и наличие аберраций системы.

Для этого на щель угловой размер которой составляет:

$$d \leq \frac{120'' * f_k * 5 * 10^{-6}}{D_{ex}} = 0.0009 \text{ рад}$$

$$f_k = 150 \text{ мм}, D_{ex} = 100 \text{ мм}$$

Увеличение микроскопа рассчитывается из условия,[6] чтобы угловой размер радиуса первого дифракционного кружка Эри был не меньше, чем разрешающая способность глаза равная примерно  $2-4'$

$$\bar{G} = (450 - 900)A \approx 90 - 180 \text{ крат}$$

Где А - относительное отверстие испытываемого объектива.

В нашем случае D/f объектива:

$$\frac{D}{f} = \frac{100}{477.7} \approx 1:5$$

Функциональная схема контроля блока (рис.1)

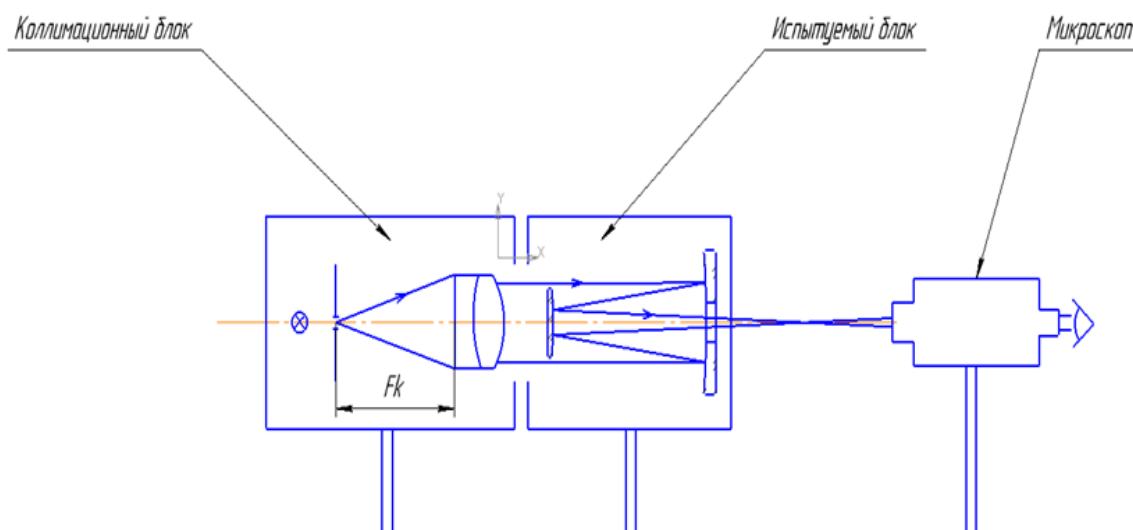


Рис. 1 – Схема контроля зеркальной системы

### Юстировка светоделителя

После установки зеркал в корпус, необходимо поджать их с помощью оправы, в которой будет находиться светоделительный блок. В конструкциях, содержащих плоские отражающие поверхности, малые смещения которых используются при юстировке системы (чаще всего для её центрирования), следует назначать подвижки, исходя из принципа наименьших наклонов и сдвигов этих поверхностей, обеспечивающего при последовательном приближении быстрое «затухание» амплитуды производимых подвижек. Методами описанными ниже мы будем компенсировать следующие погрешности сборки оптической схемы:

1. Отклонение от базовой оси кардинальной точки, расположенной на большом удалении от поверхности
2. Наклон зеркала относительно оптической оси блока

Для контроля и юстировки угла наклона светоделителя планируется воспользоваться самой камерой пеленгатора. Т.к. с её помощью выводя изображение на экран компьютера возможно съюстировать пластину, т.е. выдержать 45 градусный наклон по оси X.

В крепеже всего блока предусмотрены пазы позволяющие ослабив винты на небольшой угол повернуть сам светоделительный блок, а по изображению на матрице, понять где находится точка. (рис. 2)

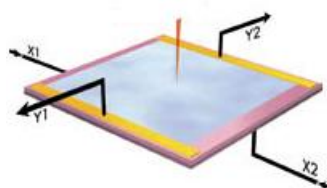


Рис. 2 –Фокусировка на поверхность датчика

Чувствительность необходимая для подвижки [7] рассчитывается как:

$$\Delta c = \Delta \alpha * a / \Gamma$$

Где  $\Delta \alpha$  – допуск на наклон пластины. Этот допуск был определен нами заранее и задан как 0.04 мм от вершины. Соответственно переводя в градусную меру  $0.1^\circ$

$a$  – расстояние от центра светоделителя до плоскости изображения, равное 45.8 мм

$\Gamma$  – увеличение воспроизводимое экраном компьютера. Изображение точки на экране будет размером с экран диагональю 14” соответственно переводя это расстояние в мм 355 мм.

Диагональ матрицы равна 35.55 мм, т.е:

$$\Gamma = \frac{355}{35.55} = 10 \text{ крат}$$

Тогда чувствительность должна быть не меньше чем 27,5 минут.

А чувствительность руки оператора при вращении с рукояткой составляет 20-30 минут следовательно, оператор может съюстировать данный элемент без помощи различных устройств. Более строгие допуски на взаимное расположение отражающих поверхностей, определяющих положение схемных элементов в системе не необходимы так как погрешности компенсируются, представленной схемой юстировки.

После установки в нужное положение светоделительной пластины, увидим на экране Гауссово распределение интенсивности на позиционно-чувствительном датчике, находящееся на оптической оси пеленгатора.

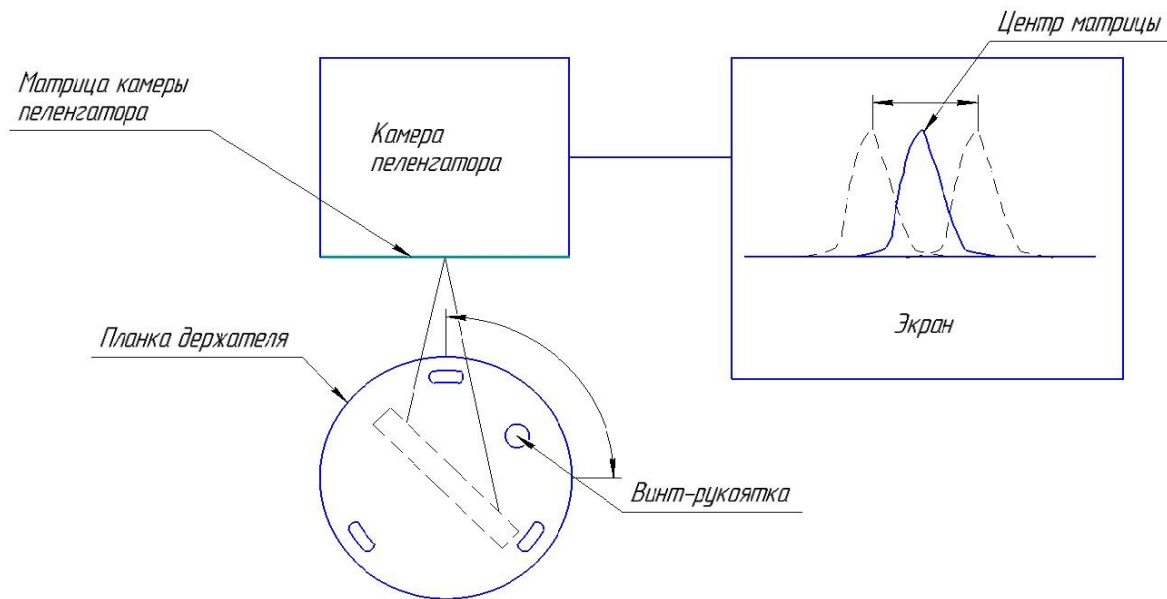


Рис. 3 – Схема юстировки светоделителя

### Наведение пятна на поверхность оптоволоконна

Приемники оптического излучения являются важными элементами оптических приборов. Осуществляя связь между оптическими и электронными функциональными устройствами блока, они определяют технические требования к конструированию прибора в целом. Выбор способа крепления и конструкция узла крепления приемника излучения определяются видом, конфигурацией, размерами, условиями эксплуатации и требованиями к нему. Узел крепления должен обеспечивать надежное закрепление источника (приемника) без возможных смещений при внешних воздействиях (ударах, вибрациях, перепадах температуры) и без деформаций, которые могут ухудшить его характеристики и надежность. Конструкция узла крепления должна быть простой, технологичной и обеспечивать возможность юстировки закрепляемого элемента, поэтому следующим объектом нашего интереса будет являться способ юстировки, при котором необходимо попадание пятна размером 40 мкм в сердцевину оптоволоконна диаметром 200 мкм. Учитывая, что информационному каналу необходимо максимальная интенсивность, в центре волокна, а контролировать пятно через позиционно-чувствительный датчик возможности нет, т.к. главное это попадание 90% энергии на поверхность волокна, то было принято решение не двигать внутренние части самой оптической схемы, а спроектировать приспособление позволяющее смещать само волокно в пределах необходимых для попадания всей энергии на поверхность волокна.

Поэтому мы спроектировали накладку со световым отверстием достаточным для прохода света в волокно, а также с 4 отверстиями для установки крепежа оптоволоконна на эту накладку. Сам крепеж это покупные детали[8-9].

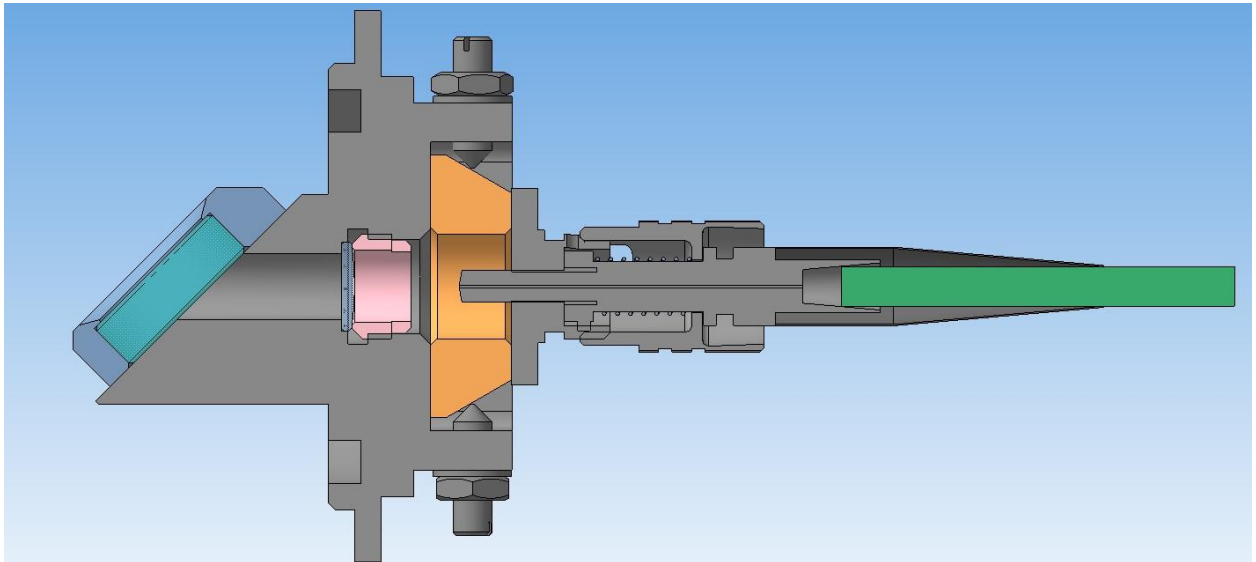


Рис. 4 – Конструкция оправки с юстировочным механизмом

Видно, (рис.5) что накладка поджимается винтами и имеет подвижки по двум осям. Тем самым на экране не будет смещения пятна, а будет изменяться интенсивность излучения на приемнике, к тому же без приемника заметить  $\lambda=1550$  нм, невозможно. Соответственно для выбора винтов, а вернее, шага резьбы необходимо понять насколько сдвинется ползунок после минимально возможного поворота винта оператором.

Винты выбранные нами: M3x0.5 L=10 мм.

Учитывая что чувствительность оператора с отверткой  $30' - 1^\circ$ , а формула передаточной функции винта является:

$$y = \frac{kp}{2\pi} x$$

Перевод из градусной меры в радианы  $30' = 0.0087$  радиан

То минимальное смещение ползунка в плоскости XOY равно:

$$y = \frac{1 \cdot 0.5}{2 \cdot 3.14} \cdot 0.0087 = 0.00069 \text{ мм} = 0.69 \text{ мкм}$$

Такой чувствительности более чем достаточно для выполнения наших задач.

Схема юстировки (рис. 5)

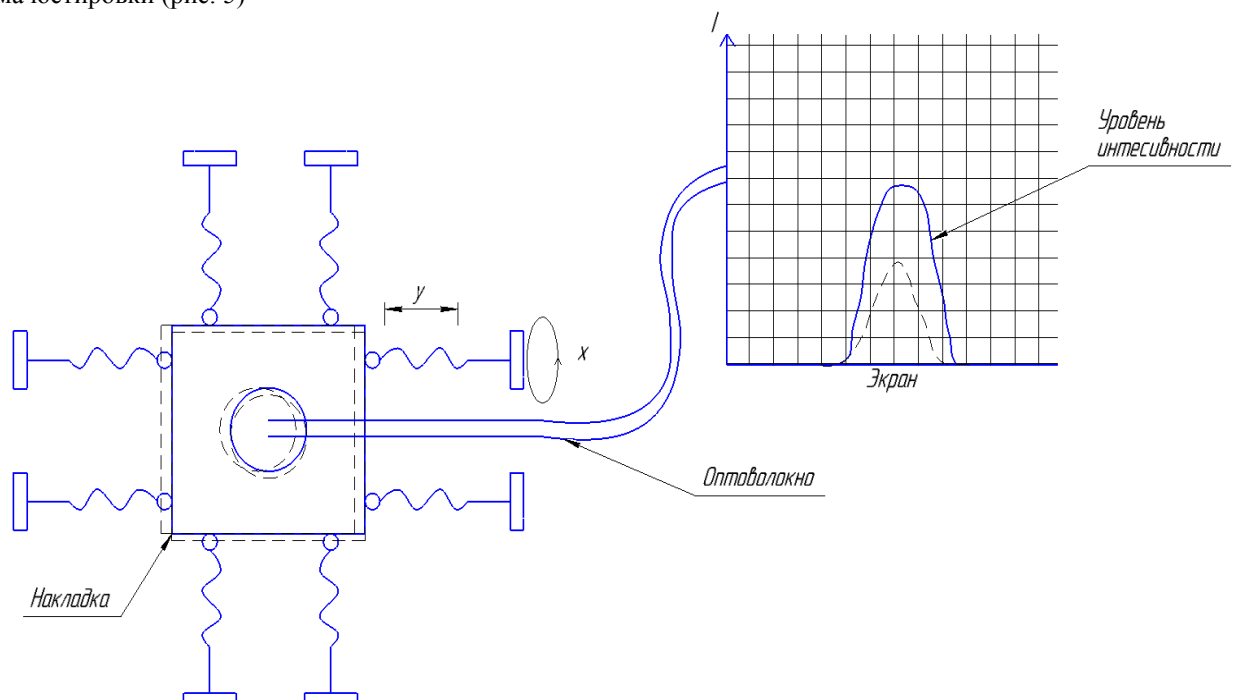


Рис. 5 – Схема юстировки положения оптоволоконна

### Заключение

В результате конструкторской работы, были разработаны методы контроля и юстировки позволяющие, с высокой точностью соосно выставить основные оптические компоненты всего информационно-пеленгационного блока межспутниковой линии связи. Проработка конструкций различных вариантов регулировочных устройств показала, что устройства, обеспечивающие поступательные сдвиги элементов, показывает наилучшие результаты в точности юстировки всего блока.

## Литература

1. Латыев, С.М. Конструирование точных оптических приборов: учебник /С.М. Латыев // Издательство: ИТМО, 2007 – 283 с.
2. Крылов К.И., Прокопенко В.Т., Митрофанов А.С. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении: учебник / Крылов К.И // Издательство: ИТМО, 2007 – 175 с.
3. Панов В.А. Справочник конструктора оптико-механических приборов: учебник / Панов В.А. // Издательство - Машиностроение, 2007 – 458 с.
4. Латыев С.М., Егоров Г.В., Тимошук И.Н. Конструирование деталей и сборочных единиц оптико-электронных приборов: учебник / Латыев С.М. // Издательство - Машиностроение, 2002 – 75 с.
5. Толстоба Н.Д., Цуканов А.А. Проектирование узлов оптических приборов: учебник / Панов В.А. // Издательство - ИТМО, 2007 – 18-69 с.
6. Кирилловский В.К. Оптические измерения части 2, 3, 6 учебник / Кирилловский В.К. // Издательство - ИТМО, 2008 – 87-98, 43-65, 8-18 с.
7. А.М. Бурбаев обработка технологичности конструкций оптических приборов.:учебник/ А.М. Бурбаев. // Изд-во – ИТМО, 2009 35-42 с.
8. Базы крепления оптомеханики, [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://standa.vicon-se.ru> – Различные крепления.
9. Оптико-электронные приборы и комплектующие , [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.edmundoptics.com> – Державки оптоволоконные.

## References

1. Latyev, S.M. Konstruirovaniye tochnykh opticheskikh priborov: uchebnyk /S.M. Latyev // Izdatel'stvo: ITMO, 2007 – 283 s.
2. Krylov K.I., Prokopenko V.T., Mitrofanov A.S. Primeneniye lazerov v mashinostroyenii i priborostroyenii: uchebnyk / Krylov K.I // Izdatel'stvo: ITMO, 2007 – 175 s.
3. Panov V.A. Spravochnik konstruktora optiko-mekhanicheskikh priborov: uchebnyk / Panov V.A. // Izdatel'stvo - Mashinostroyeniye, 2007 – 458 s.
4. Latyev S.M., Egorov G.V., Timoshuk I.N. Konstruirovaniye detalej i sborochnykh edinic optiko-jelektronnykh priborov: uchebnyk / Latyev S.M. // Izdatel'stvo - Mashinostroyeniye, 2002 – 75 s.
5. Tolstoba N.D., Cukanov A.A. Proektirovaniye uzlov opticheskikh priborov: uchebnyk / Panov V.A. // Izdatel'stvo - ITMO, 2007 – 18-69 s.
6. Kirillovskij V.K. Opticheskie izmereniya chasti 2, 3, 6 uchebnyk / Kirillovskij V.K. // Izdatel'stvo - ITMO, 2008 – 87-98, 43-65, 8-18 s.
7. A.M. Burbaev otrabotka tehnologichnosti konstrukcij opticheskikh priborov.:uchebnik/ A.M. Burbaev. // Izd-vo – ITMO, 2009 35-42 s.
8. Bazy kereplenija optomehankii, [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://standa.vicon-se.ru> – Razlichnye kereplenija.
9. Optiko-jelektronnyye pribory i komplektujushhie , [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.edmundoptics.com> – Derzhavki optovolokonnye.



# AGRIS

*Международный научно-исследовательский журнал теперь индексируется в Agris.*

*Статьи, размещаемые в Agris, имеют статус публикаций ВАК.*

**AGRIS (International System for Agricultural Science and Technology)** – это международная библиографическая база данных с более чем 7.5 млн структурированных библиографических данных по сельскому хозяйству и смежным дисциплинам.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.134

Подгорный Ю.И.<sup>1</sup>, Скиба В.Ю.<sup>2</sup>, Мартынова Т.Г.<sup>3</sup>, Косилов А.С.<sup>4</sup><sup>1</sup>Доктор технических наук, профессор,<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-8242-2295, кандидат технических наук, доцент;<sup>3</sup>кандидат технических наук;<sup>4</sup>студент, Новосибирский государственный технический университет**ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РОТОРА НА ЕГО УРАВНОВЕШЕННОСТЬ****Аннотация**

В работе представлена методика уравнивания ротора технологической машины на примере двухвального смесителя. Получены значения инерционно-массовых характеристик элементов ротора. Построена расчетная модель ротора в виде пространственной системы дисбалансов. Определены условия полной балансировки ротора и зависимости отклонений значений корректирующих дисбалансов от номинальных при различной точности изготовления элементов рабочего вала. Экспериментально установлено, что со снижением точности величина ожидаемых отклонений корректирующих дисбалансов возрастает и может достичь 75 %. Рекомендованы квалитеты точности изготовления месильных лопаток для различных угловых скоростей вращения рабочего вала.

**Ключевые слова:** Уравнивание ротора, расчетная модель, корректирующий дисбаланс, плоскость приведения, балансировка.

Podgorniy Yu. I.<sup>1</sup>, Skeebe V. Yu.<sup>2</sup>, Martynova T.G.<sup>3</sup>, Kosilov A.S.<sup>4</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering, Professor;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-8242-2295, PhD in Engineering, Associate professor;<sup>3</sup> PhD in Engineering;<sup>4</sup>student, Novosibirsk State Technical University**INFLUENCE OF ACCURACY OF THE ROTOR ELEMENT MANUFACTURING ON ITS BALANCE****Abstract**

The paper presents a balancing procedure of a production machine rotor on the example of a double-shaft mixer. The values of the inertial-mass characteristics of the rotor elements have been received. The computational model of the rotor in the form of spatial imbalances system has been built. The conditions for the complete balancing of the rotor and the dependence of correcting imbalances deviation on the rated parameters at various production accuracy of the main shaft elements have been determined. It was established experimentally that when decreasing the accuracy the value of the expected correcting imbalances deviation increases and may reach 75%. The accuracy degree of the kneading blades manufacturing for various angular rotational speed of the operating shaft has been recommended.

**Keywords:** rotor balance, simulation model, adjusting disbalance, datum plane, balance.

В технологических машинах в уравнивании нуждаются не только быстроходные роторы, но и тихоходные, имеющие значительную протяженность [1, 2]. Кроме того, точность изготовления элементов ротора может оказывать значительное влияние на его балансировку [2 - 7].

В связи с этим цель данной работы заключается в разработке методики определения значений корректирующих дисбалансов, уравнивающих роторы технологических машин на примере смесителя непрерывного действия.

В процессе работы были определены условия полной уравниваемости ротора при номинальных инерционно-массовых характеристиках его элементов, минимальные и максимальные значения дисбалансов неуравновешенных масс в зависимости от точности изготовления элементов ротора.

Ротор двухвального смесителя непрерывного действия представляет собой рабочий вал длиной 2300 мм, диаметром 70 мм с расположенными на нем двумя скребковыми и тридцатью месильными лопатками (рис. 1), в связи с чем возникает необходимость его уравнивания [8, 9]. Значения масс элементов ротора (месильных лопаток)  $m_1 = m_2 = \dots = m_{30} = 762,501$  г и расстояния до центров масс  $S_1, S_2, \dots, S_{30}e_1 = e_2 = \dots = e_{30} = 88,077$  мм.

Зная расстояния от плоскости приведения  $A$  до центров масс  $a_1 = 70$  мм,  $a_2 = 140$  мм, ...,  $a_{30} = 2100$  мм и углы между осью  $OY$  и радиус-векторами  $\varphi_1 = \varphi_5 = \dots = \varphi_{29} = 0^\circ$ ,  $\varphi_2 = \varphi_6 = \dots = \varphi_{30} = 90^\circ$ ,  $\varphi_3 = \varphi_7 = \dots = \varphi_{27} = 180^\circ$ ,  $\varphi_4 = \varphi_8 = \dots = \varphi_{28} = 270^\circ$ , получили значения дисбалансов неуравновешенных масс по формуле:

$$\bar{D}_i = \bar{e}_i \cdot m_i, \quad (1)$$

где  $\bar{e}_i$  – радиус-вектор центров масс элементов рабочего вала  $D_1 = D_2 = \dots = D_{30} = 67159$  мм·г.

Для уравнивания ротора были назначены две плоскости приведения [10]  $A$  и  $B$ , перпендикулярные оси вращения  $z$  (рис. 1). В этих плоскостях находятся центры масс скребковых лопаток ( $S_{сА}$ ,  $S_{сВ}$ ). Массы скребковых лопаток  $m_{сА} = m_{сВ} = 2727,984$  г, расстояние до центров масс  $e_{сА} = e_{сВ} = 29,666$  мм, тогда в соответствии с формулой (1)  $D_{сА} = D_{сВ} = 80928,373$  мм·г.

Расстояние между плоскостями  $l = 2170$  мм.

Дисбалансы  $\bar{D}_1, \bar{D}_2, \dots, \bar{D}_{30}$  всех неуравновешенных масс были приведены к плоскостям  $A$  и  $B$ , т.е. каждый вектор дисбаланса был заменен двумя, параллельными этому вектору и расположенными в плоскостях приведения  $A$  и  $B$ .

В результате приведения пространственная система дисбалансов  $\bar{D}_1, \bar{D}_2, \dots, \bar{D}_{30}$  (рис. 1) была заменена двумя плоскими системами (рис. 2).

Сложив дисбалансы, расположенные в каждой из плоскостей, получили:

$$\bar{D}_A = \sum \bar{D}_{iA}, \quad (2)$$



$$\bar{D}_B = \sum \bar{D}_{iB}. \quad (3)$$

Причем  $D_A = D_B = 47516,9$  мм·г.

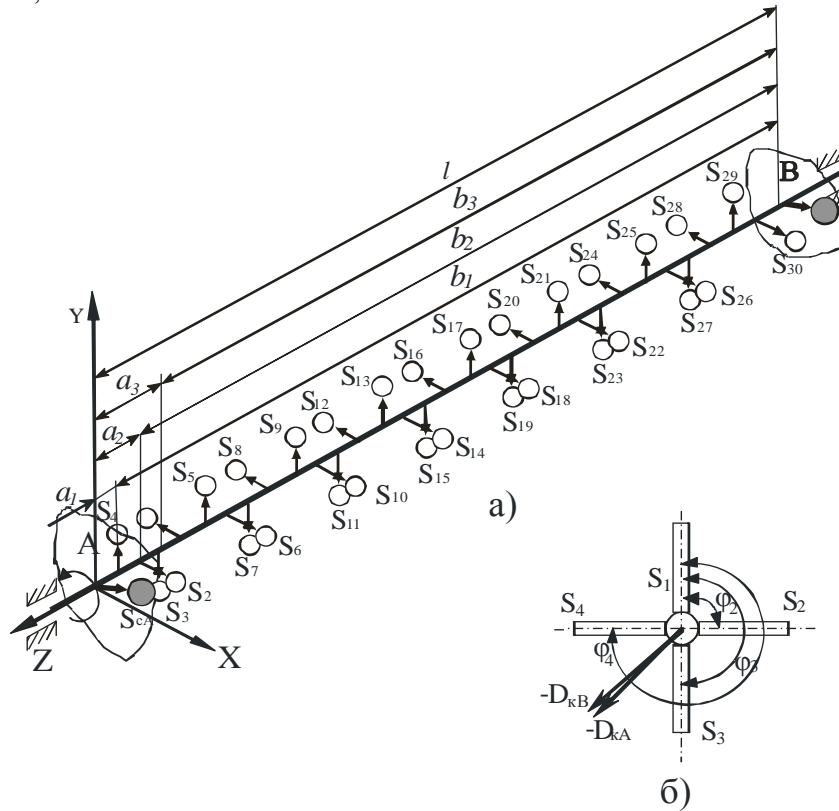


Рис. 1 – Расчетная модель рабочего органа (ротора) двухвального смесителя непрерывного действия автоматической линии Braibanti: а) пространственная система дисбалансов; б) схема расположения векторов корректирующих дисбалансов

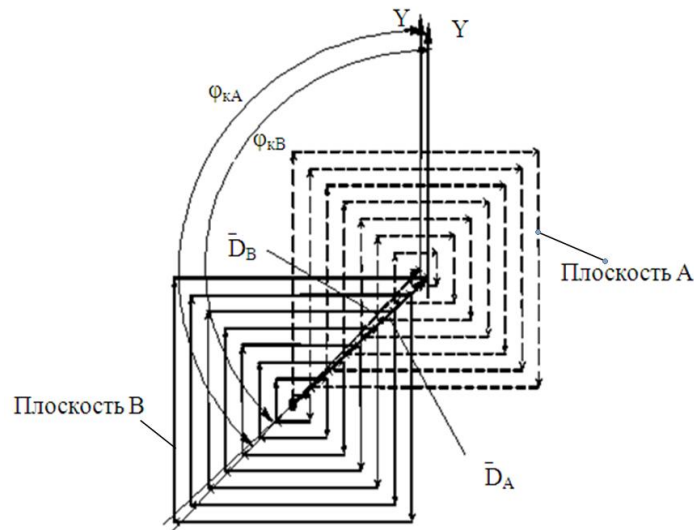


Рис. 2 – План дисбалансов (при номинальных размерах элементов ротора)

Таким образом, неуравновешенность ротора можно представить двумя скрещивающимися векторами дисбалансов  $\bar{D}_A$  и  $\bar{D}_B$ , расположенными в плоскостях приведения А и В (рис. 2). Тогда они будут одновременно и плоскостями коррекции.

Условиями полной балансировки будут векторы (рис 1б)

$$\bar{D}_{кА} = -\bar{D}_A, \quad (4)$$

$$\bar{D}_{кВ} = -\bar{D}_B. \quad (5)$$

Их угловые координаты  $\varphi_{кА} = 137^\circ$  и  $\varphi_{кВ} = 134^\circ$  взяты с планов дисбалансов (рис. 2).

С помощью 3D-моделирования были получены значения дисбалансов при различной точности изготовления лопаток, так для IT6  $D_i = 67062,74$ , а для IT18  $D_i = 50822,26$ .

Методом математического моделирования уравнивания рабочего вала при различной точности изготовления его элементов были получены численные значения и угловые координаты корректирующих векторов  $D'_{кА}$  и  $D'_{кВ}$  (рис.3),



причем с увеличением квалитета, увеличивались их отклонения от  $D_{KA}$  и  $D_{KB}$ , полученных при номинальных размерах. Расположение лопаток было выбрано с помощью нормального ряда случайных чисел в пределах каждого квалитета. Из полученных результатов были выбраны наибольшие значения реакций в опорах по каждому квалитету [10].

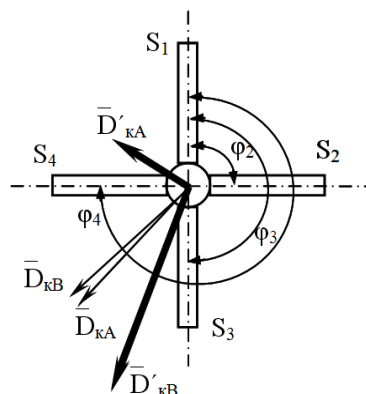


Рис. 3 – Типовые корректирующие векторы дисбалансов при пониженной точности изготовления элементов месильного вала

Результаты обработки приведены на графике (рис. 4), где видно, что со снижением точности изготовления лопаток рабочего вала величина ожидаемых отклонений корректирующих дисбалансов возрастает.

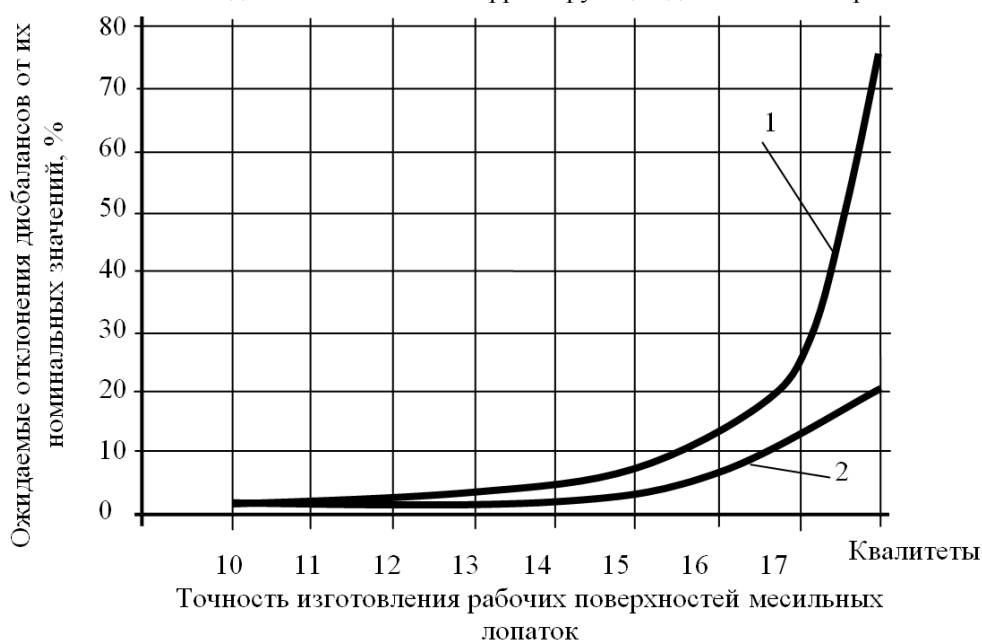


Рис. 4 – Зависимость отклонений величин корректирующих дисбалансов от точности изготовления рабочих поверхностей месильных лопаток: 1 – максимальное отклонение от номинальных значений, %; 2 – минимальное отклонение от номинальных значений, %.

По ГОСТ 22061-76 [11] для роторов машин общего назначения балансировка проводится по 4 классу точности, для которого выполняется условие:

$$e \cdot \omega \leq 6,3 \text{ мм/с}, \quad (6)$$

где  $e$  – удельный дисбаланс, мм;  $\omega$  – максимальная угловая скорость ротора,  $\text{с}^{-1}$ .

Полученное в соответствии с выражением (6) значение удельного дисбаланса является допустимым отклонением от существующего расстояния до центра масс скребковой лопатки в большую сторону. Ожидаемые максимальные значения скалярных величин векторов корректирующих дисбалансов (таблица 1) определялись по графической зависимости (рис. 4) для каждого квалитета.

При известных параметрах скребковой лопатки (масса 29944,964 г, расстояние до центра масс 16,135 мм) и значениях допустимых отклонений расстояний до центра масс, определялись максимально допустимые значения корректирующих дисбалансов, а по таблице 1 и 2 определялся рекомендуемый квалитет точности изготовления месильных лопаток.

Таблица 1 – Значения корректирующих дисбалансов при различной точности изготовления ротора

Квалитеты	Ожидаемого отклонения от номинального дисбаланса, %	Численное значение корректирующего дисбаланса с учетом отклонения, г·мм	$e \cdot \omega[5]$ для 4 класса точности балансировки
0	0	47517	6,3
IT 10	0,9	47945	6,3
IT 11	1,1	48040	6,3
IT 12	1,4	48182	6,3
IT 13	2,8	48847	6,3
IT 14	4,7	49750	6,3
IT 15	8,2	51413	6,3
IT 16	12,1	53267	6,3
IT 17	25,1	59447	6,3
IT 18	75,0	83157	6,3

В случае выхода из строя и замены всего рабочего вала необходимо изготовить его элементы и их паспортизовать, т. е. занести все геометрические характеристики в паспорт деталей. В соответствии с этими данными и с помощью 3D моделирования в программном продукте Компас определить инерционно-массовые характеристики проектируемой конструкции (масса и расстояние до центра масс). Затем в соответствии с предлагаемой выше методикой и фактическими значениями характеристик элементов вала выбираются две плоскости приведения и определяются величины и направления векторов корректирующих дисбалансов с помощью графического метода построения моментных многоугольников. В качестве корректирующих дисбалансов используются скребковые лопатки. Используя уравнение положения центров масс:

$$R = \frac{\sum m_i \cdot r_i}{\sum m_i}, \quad (7)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го элемента скребковой лопатки;  $r_i$  – радиус-вектор, задающий положение центра масс-го элемента скребковой лопатки, получили значение инерционно-массовых характеристик для скребковой лопатки, как конструкции, состоящей из двух элементов. В системе Компас 3D моделируется каждый из этих элементов в отдельности и вся лопатка в целом в зависимости от полученных расчетных данных для достижения необходимых значений корректирующих дисбалансов.

Таблица 4 – Рекомендуемая точность изготовления элементов ротора в зависимости от его скоростных характеристик

Параметры	Скоростные характеристики ротора (частота вращения), мин <sup>-1</sup>				
	74,6	80	90	100	120
Угловая скорость ротора $\omega$ , с <sup>-1</sup>	7,808	8,373	9,420	10,467	12,560
Удельный дисбаланс $e$ , мм	0,808	0,752	0,669	0,602	0,502
Максимально допустимое расстояние до центра масс корректирующих дисбалансов (скребковых лопаток), мм	16,943	16,887	16,804	16,737	16,637
Предельно допустимые значения корректирующих дисбалансов (соответствующие ГОСТ 22061-76), г·мм	До 49897	До 49732	До 49487	До 49290	До 48996
Рекомендуемая точность выполнения лопаток (квалитет) в соответствии с таблицей 1	IT 14	IT 13	IT 13	IT 13	IT 13

#### Выводы:

1. Установлено, что для полной уравновешенности рабочего вала смесителя при номинальных значениях инерционно-массовых характеристиках его элементов (масса и расстояние до центра масс) необходимо установить углы разворота скребковых лопаток относительно оси  $y$  на углы  $\varphi_{\kappa A} = 137^\circ$  и  $\varphi_{\kappa B} = 134^\circ$  соответственно, а геометрические и инерционно-массовые характеристики изменить таким образом, что  $D_{cA} = D_{cB} = D_{\kappa A} = D_{\kappa B} = 47516,9$  мм·г.

2. Получены минимальные и максимальные значения дисбалансов неуравновешенных масс в соответствии с квалитетами, так при IT6 минимальное значение составляет 67062,74 г·мм, максимальное – 67122,40 г·мм, а при IT18 минимальное значение – 50822,26 г·мм, максимальное – 83362,88 г·мм.

3. Получены графики ожидаемых отклонений значений корректирующих дисбалансов от их номинальных значений в зависимости от точности изготовления элементов месильного вала (достоверность аппроксимации составила от 0,95 до 0,99). Выявлено, что эти отклонения при высокой точности изготовления элементов рабочего вала (до десятого квалитета) незначительны, и составляют 0,05 – 0,50 %, а при более низкой (IT 18) – могут достигать 75%.

4. Определены качества точности изготовления месильных лопаток для различных угловых скоростей вращения рабочего вала: при угловой скорости вращения  $\omega = 7,808 \text{ c}^{-1}$  – качество ИТ 14; от  $\omega = 8,373 \text{ c}^{-1}$  до  $\omega = 12,560 \text{ c}^{-1}$  – качество ИТ 13.

### Литература

1. Определение основных параметров технологического оборудования / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, В.Ю. Скиба, В.Н. Пушкин, Н.В. Вахрушев, Д.Ю. Корнев, Е.К. Зайцев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). -2013. -№ 3 (60). -С. 68-73
2. Скиба В.Ю. Актуальные проблемы в машиностроении. Новосибирск, 2014. -588 с. – ISBN 978-5-7782-2410-0.
3. Выбор конструктивных параметров несущих систем машин с учетом технологической нагрузки / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Д.В. Лобанов, В.Р. Глейм, А.К. Жигулев, О.В. Саха // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2015. - № 4 (69). - С. 51-60. - DOI: 10.17212/1994-6309-2015-4-51-60
4. Моделирование несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, В.Н. Пушкин, И.А. Ерохин, Д.Ю. Корнев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – №2 (63). – С.91-99.
5. Подгорный Ю.И. Уравновешивание роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // Актуальные проблемы в машиностроении. - 2015. - № 2. - С. 256-262.
6. Li X., Zheng L., Liu Z. Balancing of flexible rotors without trial weights based on finite element modal analysis // Journal of Vibration and Control. - 2013. - Vol. 19, - Iss. 3, - P. 461–470. - DOI: 10.1177/1077546311433916
7. Khulief Y.A., Mohiuddin M.A., El-Gebeily M. A New Method for Field-Balancing of High-Speed Flexible Rotors without Trial Weights // International Journal of Rotating Machinery. – 2014. – Vol. 2014, - Article ID 603241. - 11 p. - DOI: 10.1155/2014/603241
8. Гусаров А.А. Балансировка роторов машин: В 2 кн. Кн. 1. / А.А. Гусаров; отв. ред. С.М. Каплунов; Ин-т машиностроения им. А.А. Благодатова. – М., 2004. – 267 с.
9. Подгорный Ю.И., Мартынова Т.Г., Войнова Е.В. Уравновешивание рабочего вала смесителя непрерывного действия // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе материалы 8-й Всероссийской научно-технической конференции. - 2010. - С. 127-129.
10. Подгорный Ю. И. Влияние точности изготовления месильных лопаток на уравновешенность рабочего вала смесителя непрерывного действия / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова // Научный вестник НГТУ. – 2010. – № 3(40). – С. 119–126.
11. ГОСТ 22061-76. Машины и технологическое оборудование. Система классов точности балансировки. – М.: Стандартиформ, 1993. - 22 С.

### References

1. Podgorniy Yu. I., Martynova T.G., Skeebe V.Yu., Pushnin V.N., Vakhrushev N.V., Kornev D.Yu., Zaitsev E.K. Opredelenie osnovnykh parametrov tekhnologicheskogo oborudovaniya // Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty). 2013. № 3 (60). S. 68-73
2. Skeebe V.Yu. Aktual'nye problemy v mashinostroenii. Novosibirsk, NSTU Publ., 2014. 588 s.
3. Podgorniy Yu.I., Skeebe V.Yu., Kirillov A.V., Maksimchuk O.V., Lobanov D.V., Gleim V.R., Zhigulev A.K., Sakha O.V. Vybory konstruktivnykh parametrov nesushchikh sistem mashin s uchetom tekhnologicheskoi nagruzki // Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty). 2015. № 4(69), S. 51-60.
4. Podgorniy Yu.I., Skeebe V.Yu., Kirillov A.V., Pushnin V.N., Erohin I.A., Kornev D.Yu. Modelirovaniye nesushchikh sistem tekhnologicheskikh mashin // Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty). 2014. № 2(63). S. 91-99.
5. Podgorniy Yu.I., Martynova T.G., Bredikhina A.N., Kosilov A.S., Pechorkina N.S. Uravnovesivaniye rotorov tekhnologicheskikh mashin // Aktual'nye problemy v mashinostroenii . 2015. № 2. S. 256-262.
6. Li X., Zheng L., Liu Z. Balancing of flexible rotors without trial weights based on finite element modal analysis. Journal of Vibration and Control, 2013, vol. 19, iss. 3, pp. 461–470.
7. Khulief Y.A., Mohiuddin M.A., El-Gebeily M. A New Method for Field-Balancing of High-Speed Flexible Rotors without Trial Weights. International Journal of Rotating Machinery. 2014, vol. 2014, Article ID 603241, 11 p.
8. Gusarov A.A. Balansirovka rotorov mashin: V 2 kn. Kn. 1. Moscow, IMASH Publ., 2004. 267 p.
9. Podgorniy Yu.I., Martynova T.G., Voinova E.V. Materialy 8-i Vserossiiskoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii “Problemy povysheniya effektivnosti metalloobrabotki v promyshlennosti na sovremennom etape”. Novosibirsk, 2010, pp. 127-129.
10. Podgorniy Yu.I., Martynova T.G. Vliyaniye tochnosti izgotovleniya mesil'nykh lopatok na uravnovesheynost' rabocheho vala smesitelya nepreryvnogo deistviya // Nauchnyi vestnik NGTU. 2010. № 3(40). S. 119–126.
11. GOST 22061-76. Mashiny i tekhnologicheskoe oborudovanie. Sistema klassov tochnosti balansirovki. Moscow, Standartinform Publ., 1993. 22 p.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.001

Семенова В.В.<sup>1</sup>, Ларин В.И.<sup>2</sup><sup>1</sup>Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Менеджмент»,<sup>2</sup>аспирант,

Московский государственный машиностроительный университет

**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ СИММЕТРИЧНОГО КЛЮЧА В ОРГАНИЗАЦИИ****Аннотация**

Криптография позволяет передавать информацию в защищенной форме, обеспечивая безопасность, конфиденциальность и целостность данных. При защите конфиденциальной информации криптография способствует высокому уровню безопасности персональных данных отдельных людей и групп. Доступ к информации, хранящейся в компьютерных базах данных, значительно возрос. Компании хранят корпоративные и персональные данные на компьютерах чаще, чем когда-либо ранее. Большая часть хранящейся информации строго конфиденциальна и не предназначена для публичного просмотра. В данной статье описан криптографический алгоритм, основанный на концепции блочного шифрования. Результаты экспериментов показывают, что предложенный алгоритм является достаточно эффективным и защищенным.

**Ключевые слова:** Информационная безопасность, шифрование, дешифровка, криптография.

Semenova V.V.<sup>1</sup>, Larin V.I.<sup>2</sup><sup>1</sup>PhD in Economics, Associate Professor at the Department of Management,<sup>2</sup>postgraduate Student, Moscow State University of Mechanical Engineering**THE RELEVANCE OF USING SYMMETRIC KEY TECHNIQUES IN COMPANY****Abstract**

Cryptography allows information in a protected form of providing security, privacy and data integrity. In the protection of confidential information cryptography promotes a high level of security of individuals and groups of personal data. Access to information stored in computer databases has increased significantly. Companies keep corporate and personal data on computers more frequently than ever before. Most of the stored information is strictly confidential and is not intended for public viewing. This article describes the cryptographic algorithm based on block encryption concept. Experimental results show that the proposed algorithm is very effective, and secure.

**Keywords:** Information security, encryption, decryption, cryptography.

**Ш**ифрование – это механизм осуществления изменений исходного документа, позволяющий получить доступ к зашифрованной информации только ее владельцу и доверенным лицам. основополагающей задачей шифрования является обеспечение конфиденциальности передаваемой информации.

Ключевой особенностью реализации алгоритмов шифрования и дешифровки является генерирование ключа шифрования. Однако, основная цель криптографии заключается не только в обеспечении конфиденциальности, но и для решения иных задач, таких как: сохранение целостности данных, аутентификации, фиксации авторства. Криптография – это совокупность методов, позволяющих передавать информацию в защищенной форме таким образом, что только конечный получатель сможет ей воспользоваться. В настоящее время продолжают непрерывные исследования новых криптографических алгоритмов. Тем не менее, тяжело подобрать конкретный алгоритм, так как уже известно, что они должны учитывать множество факторов: безопасность, особенности алгоритма, трудоемкость и ресурсоемкость.

Если говорить о безопасности информации, то на ум приходят следующие параметры:

- Конфиденциальность (приватность);
- Аутентификация (тот, кто создал или отправил данные);
- Целостность (неизменность при работе с данными);
- Безотказность (порядок является окончательным);
- Контроль доступа (предотвращение неправильного использования);
- Доступность (постоянство, защита от удаления).

В последнее время активно обсуждается недавно разработанная методика, которая называется «Новый симметричный ключ криптографического алгоритма использования расширенных методов MSA: DSA симметричный алгоритм ключа».

MSA (Measurement System Analysis) – методика оценки приемлемости измерительных систем с использованием количественной оценки совокупности их характеристик.

DSA (Digital Signature Algorithm) – алгоритм создания электронной подписи с применением открытого ключа.

Система шифрования с открытым ключом – криптографическая система, транслирующая открытый ключ по доступному для наблюдения каналу, применяемая для контроля электронных подписей и шифрования текстовых сообщений.

Предполагается, что метод симметричного ключа использует генератор случайных чисел для составления первичного ключа и ключа, используемого для шифрования исходного файла. В данном случае основным механизмом выступает метод замещения, при котором алгоритмом заимствуются 4 символа из любого входного файла, после чего идет поиск соответствующих значений в матрице данного файла, а зашифрованные данные хранятся в отдельном файле. Для поиска значений из случайного ключа матрицы используется метод, который был предложен в MSA алгоритме. Таким образом, имеется возможность шифровать сообщение множество раз. Ключ матрицы содержит все возможные значения, состоящие из 2 символов в каждом, созданные из всех отдельно выбранных символов, чей ASCII код находится в диапазоне от 0 до 255 в порядке, выстроенном генератором случайных чисел.

ASCII ( American Standard Code for Information Interchange ) – массив, сопоставляющий числовые коды всеми возможными печатными и непечатными символами. Содержит коды для символов латинского алфавита, национального алфавита, знаков препинания, десятичных цифр, а также управляющих символов.

Создаваемый шаблон ключа матрицы будет зависеть от текста, введенного пользователем в систему. Для получения числа рандомизации и шифрования исходного текста, введенного пользователем, предложен специальный алгоритм.

После пробного запуска на тестовом ключе были выявлены сложности при попытке соответствовать обоим параметрам сразу из двух различных текстовых ключей. Это означает, что, если кто-то хочет разрушить свой метод шифрования, ему необходимо знать точный образец исходного текстового ключа. Для расшифровки любых подобных файлов необходимо точно знать ключевую матрицу, а для ее поиска, теоретически, необходимо 65536 попыток, что является практически невозможным. Данный метод применим к исполняемым файлам, файлам программных комплексов Microsoft Office Word, Excel, Acces, большинству текстовых файлов, файлам изображений, PDF, видеофайлам, аудиофайлам, базам данных Oracle, SQL, FoxPro, что, на мой взгляд, служит на 100 процентов верным и оправданным решением при шифровке и дешифровке конфиденциальной информации. Данный метод может быть использован для шифрования электронных цифровых подписей, а также водяных знаков перед вложением в оболочку файла, что способствует обеспечению комплексной безопасности всей необходимой информации.

Основная идея метода симметричного шифрования заключается в разделении шифрования на два блока, один из которых – принцип симметричной кодировки, а другой – потоковое шифрование. На мой взгляд, следует отдать предпочтение первому блоку из-за его эффективности и защищенности. В предложенной методике мы имеем общий ключ для отправителя и получателя, который известен как персональный ключ. Проще говоря, концепция закрытого ключа – это концепция симметричного ключа, при которой обычный текст конвертируется в зашифрованный, а затем снова расшифровывается ключом в обычный. Ключ шифрования связан с ключом расшифровки таким образом, что это могут быть два одинаковых ключа или отличаться небольшими изменениями. На практике ключи представляют собой некий секрет, известный двум и более сторонам, который может быть использован для поддержания конфиденциальности информации.

Основные преимущества использования методики симметричной шифровки и дешифровки:

- Простота процесса шифрования;
- Каждый торговый партнер может использовать один и тот же алгоритм, нет необходимости в дополнительной разработке и передаче сопутствующих алгоритмов;
- Безопасность находится в прямой зависимости от длины ключа;
- Высокая пропускная способность;
- Данные ключи относительно короткие;
- Симметричные ключи шифрования могут быть использованы в качестве примитивов для построения различных механизмов шифрования;
- Симметричный ключ шифрования может быть использован для создания более прочных шифров;
- Симметричные ключи могут быть использованы для хранения истории сообщений.

Очевидно, данная методика имеет право на существование и применение в области защиты персонализированной информации и деловой документации. В случае, когда руководство организации или же конкретный пользователь делает акцент на безопасности своей профессиональной деятельности, он может воспользоваться данным алгоритмом для ее обеспечения. По существу, методика симметричного ключа - это блочное шифрование, занимающее меньше времени на обработку и кодировку даже в том случае, если файл имеет большой размер. Главным достоинством данного метода является то, что, не зная точного ключа, механизм алгоритма шифрования практически не поддается взлому, на него потребуется слишком много попыток. Полагаю, что подобная методика может быть применена для кодировки и декодировки в любой сфере деятельности, связанной с отправкой конфиденциальных данных, а, в связи с поправками в российском законодательстве в сфере защиты персональных данных, она становится все более актуальным и перспективным направлением.

#### Литература

1. Статистическое управление процессами [Электронный ресурс] URL: <http://www.it-analiz.ru/msa.html> (дата обращения 07.03.2016).
2. Wang and Ming Hu «Timing evaluation of the known cryptographic algorithms» 2009 International Conference on Computational intelligence and security.
3. A.Nath, S.Ghosh, M.A.Mallik «Key cryptography using random key generator»: Proceedings of International conference on SAM-2010 held at Las Vegas(USA) 12-15 July,2010, Vol-2,P-239-244.
4. Neal Koblitz, «A Course in Number Theory and Cryptography»: Second Edition Published by Springer, Vol-4, P-87-94.

#### References

1. Statisticheskoe upravlenie processami [Elektronnyj resurs] URL: <http://www.it-analiz.ru/msa.html> (data obrashhenija 07.03.2016).
2. Wang and Ming Hu «Timing evaluation of the known cryptographic algorithms» 2009 International Conference on Computational intelligence and security.
3. A.Nath, S.Ghosh, M.A.Mallik «Key cryptography using random key generator»: Proceedings of International conference on SAM-2010 held at Las Vegas(USA) 12-15 July,2010, Vol-2,P-239-244.
4. Neal Koblitz, «A Course in Number Theory and Cryptography»: Second Edition Published by Springer, Vol-4, P-87-94.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.162

Сироткин А.В.<sup>1</sup>, Шарыпов С.А.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-5770-9884, Кандидат технических наук, доцент,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-0596-471X, Студент,

Северо-Восточный государственный университет

**ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТОВОГО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА****Аннотация**

В статье рассматривается вопрос разработки оптимизационной модели системы контроля состояния и мониторинга на примере оценки соответствия функций охранных тиражируемых систем и параметров контролируемых объектов с использованием элементов теории множеств. Приведённый пример основывается на использовании аддитивной функции свёртки для построения целевой функции. Модель может быть использована для выбора оптимальной системы контроля произвольной среды при заданных критериях, требованиях, выбранной функции свёртки и системе экспертных оценок параметров измерений.

**Ключевые слова:** контроль, функции контроля, объект контроля.

Sirotkin A.V.<sup>1</sup>, Sharypov S.A.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-5770-9884, PhD in Engineering, associate professor,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-0596-471X, Student,

Northeastern state university

**CONSTRUCTION OF OPTIMIZATION MODEL OF SYSTEM OF THE OBJECT CONTROL AND MONITORING****Abstract**

The article reviews development of the optimization model of system of condition control and monitoring based on the estimation of conformity between functions of the security duplicated systems and parameters of controllable objects including elements from the theory of sets. The example is based on the function of additive convolution which was used for construction of the target function. The model can be used to select the best monitoring system of any environment with established parameters, requirements, selected additive function of convolution and expert evaluation of dimension parameters.

**Keywords:** control, control functions, control object.

В современном мире происходит лавинообразное внедрение систем автоматизации во все области деятельности человека. Основу этих систем составляют средства контроля и измерения параметров объектов и среды наблюдения. В этой связи немаловажным является вопрос правильного выбора системы контроля, функции которой будут максимально удовлетворять требованиям и параметрам объекта наблюдения, и не будут выходить за пределы принятых ограничений. В данной постановке проблема формулируется как выбор оптимальной системы контроля для наблюдаемого объекта. В данной работе рассматривается вопрос построения математической модели, которая может быть использована для выбора оптимальной системы контроля, применительно к произвольному объекту, параметры и требования которого чётко сформулированы.

Введём следующие обозначения. Пусть  $S$  – множество систем мониторинга,  $F$  – множество функций контроля,  $O$  – множество объектов мониторинга, для каждого из которых введём соответствующее обозначение мощности:  $n = |S|$ ,  $m = |F|$ ,  $g = |O|$ .

В общем случае для  $i$ -й системы, произвольно выбранной из множества  $O$ , мониторинг (по аналогии с [1]) можно представить в виде кортежа процессов  $M_i = \langle M_{i,1}, M_{i,2}, \dots, M_{i,k} \rangle$ , где каждый участник  $M_{i,j}$ ;  $j \in [1, k]$  представляет собой процесс мониторинга, осуществляющий измерение, регистрацию и анализ параметров, соответствующих некоторому подмножеству функций контроля множества  $F_i$ ;  $i \in [1, g]$ . Данное рассуждение имеет значение при том допущении, что множество  $F_i$  объединяет в себе все функции контроля, соответствующие объекту  $O_i$ , в противном случае множество  $F_i$  разбивается на ряд подмножеств, включающих в себя функции контроля, выбранные и сгруппированные по отдельным признакам, например по состоянию обработанности материала [1] (сырьё или продукция). В рамках поставленной задачи исследования примем неделимость множества  $F_i$ , полностью характеризующего все параметры или функции контроля, имеющие в свою очередь, атомарный (неделимый) характер. Это потребует конкретного формулирования параметров измерений, каждый из которых будет характеризовать отдельный физический процесс. Например, контроль возгорания не может быть сформулирован в данной постановке как параметр измерения, поскольку может включать в себя контроль задымления, температуры и освещённости, но в отдельности каждый из этих параметров может войти в члены множества  $F_i$  как характеристика объекта наблюдения, а мониторинг возгорания может быть в свою очередь представлен как контроль пожарного состояния объекта

$$M_f = \{T, L, S\},$$

где  $T$  – температура воздуха объекта,  $L$  – уровень освещённости,  $S$  – уровень концентрации дыма.

Решая задачу построения оптимальной системы контроля и мониторинга на её основе для выбранного объекта  $O_i \in O$  и соответствующего множества функций измерений  $F_i$ , следует решать задачу выбора наилучшего решения, в наибольшей степени соответствующего требованиям контроля, причём не всегда наилучший выбор технической системы будет обоснован наибольшим количеством внедрённых функций измерения.

Учитывая всю сложность постановки подобной задачи в её широком смысле, попробуем решить её частный случай для распространённых охранных систем и объектов недвижимости с целью формулирования математических примитивов для моделирования оптимальных систем контроля.

Построим модель оптимизации системы контроля для множества  $O$ , основанную на максимальном удовлетворении всех требований к контролю объекта. Для рассматриваемой предметной области это является задачей многокритериальной оптимизации, где в качестве критериев выступают контролируемые показатели. В этом случае необходима нормализация критериев для приведения их к безразмерным относительным величинам. Следует также учитывать важность критерия для каждого конкретного объекта, которая будет оцениваться весовым показателем, полученным на основе экспертной оценки.

В такой постановке возможно использование метода аддитивной свёртки критериев для решения задачи оптимизации.

Определим вектор весовых коэффициентов  $\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_m)$  характеризующих важность функции измерения для абстрактного объекта. Очевидно, что для конкретного объекта  $O_i$  будет определён свой вектор  $\rho_i = (\rho_{1,i}, \rho_{2,i}, \dots, \rho_{m,i})$ . Здесь важно то, что мы не изменяем состав функций измерения, осуществляя управление выбором на основе весов для каждого вида измерений. Такой подход позволит универсализировать метод решения задачи оптимизации для всех систем контроля.

Построим целевую функцию для системы контроля на основе аддитивной свёртки:

$$f(X) = \sum_{l=1}^m \rho_l f_l(X) \quad (1)$$

где  $X$  – множество допустимых решений. Задача оптимизации в такой постановке сводится к поиску такого решения  $z$ , при котором целевая функция приводится к некоторому экстремуму, т.е.

$$z = \text{Arg max}(f(X)) \quad (2)$$

Попробуем решить эту задачу для простых случаев оптимального выбора технического решения из представленных на рынке охранных систем, применяемых для типовых объектов контроля. В качестве исходных данных используем результаты функционального анализа этих систем, опубликованные в [2]. К сравнениям добавлена разрабатываемая система UCM, предназначенная для прототипирования базовой системы мониторинга состояния городской среды.

Определим матрицу  $A$  принадлежности функций контроля соответствующим системам  $A = \|\alpha_{ij}\|$ , ( $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ ) такую, каждый элемент которой определяется как

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{я система контроля обладает } j - \text{й функцией;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Пример матрицы  $A$  для распространённых рыночных систем контроля приведен в таблице 1.

Определим матрицу  $B$  необходимости функции контроля для объекта наблюдения  $B = \|\beta_{jk}\|$ , ( $j = \overline{1, m}; k = \overline{1, g}$ ) такую, каждый элемент которой определяется как

$$\beta_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{если } j - \text{я функция необходима для } k - \text{го объекта контроля;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Элементы матрицы  $B$  могут принимать численные значения из некоторого диапазона и показывать степень необходимости той или иной функции для каждого объекта контроля, т. е. фактически представлять множество весовых коэффициентов  $\rho_i, i \in \overline{1, g}$ . Пример матрицы  $B$  приведён в таблице 2. Данные, приведённые в таблице 2, не претендуют на абсолютное соответствие реальным потребностям указанных объектов. Приведённые значения в реальных условиях объективного выбора получаются на основе экспертной оценки весов значений матрицы  $B$ .



Таблица 1 – Матрица функций контроля для тиражируемых охранных систем

Функция	Sapsan Pro 6	Страж Sheriff	Страж Sokol-Prof	ДРАК ОН	Falcon Eye i-Touch	TAVR-2	КСИТАЛ GSM-12T	UCM
Отправка SMS-сообщения и звонка в случае тревоги	1	1	1	1	1	1	1	1
Контроль проникновения в помещение	1	1	1	1	1	1	1	1
Защита от задымления и пожара	1	1	1	1	1	1	1	1
Контроль протечки воды	1	1	1	1	1	1	1	1
Контроль температуры	1	1	1	1	0	1	1	1
Контроль утечки газа	1	1	1	1	1	0	1	0
Сообщение об отключении электричества	1	1	1	1	1	1	1	1
Частичная постановка и снятие с охраны	1	1	1	0	0	1	0	1
Прослушивание помещения	1	1	1	1	1	1	1	1
Управление отопительными приборами	1	1	1	1	0	0	1	0
Получение тревожных снимков	1	0	0	0	0	0	0	1
Функция видеозаписи	1	0	0	0	0	0	0	1
Функция «антиглушения»	0	0	0	0	0	0	1	1
Функция ежедневного отчёта по SMS	1	0	0	1	0	0	1	1
Функция тревожной кнопки	1	0	1	1	1	1	1	0
Включение сигнала тревоги при срабатывании датчиков	1	1	1	1	1	1	1	0

Применяем функцию (1) к расчёту целевого показателя для каждой из систем, приведённых в таблице 1, по всем объектам, приведённым в таблице 2. Для этого выполняем умножение матриц  $A$  и  $B$ , точнее транспонированной матрицы  $A^T$ , т. е.  $AB = A^T \cdot B$ . В результате получим матрицу  $AB$ , с элементами  $AB = \|\lambda_{ik}\|$ ,  $i = \overline{1, n}; k = \overline{1, g}$ , каждый из которых характеризует эффективность применения  $i$ -й системы для  $k$ -го объекта.

Таблица 2 – Пример матрицы весов функций контроля

Функция	Дом	Квартира	Дача	Офис	Магазин	Гараж	Склад	Автомобиль
Отправка SMS-сообщения и звонка в случае тревоги	7	7	7	7	7	7	7	0
Контроль проникновения в помещение	7	7	7	7	7	7	7	0
Защита от задымления и пожара	7	7	7	7	7	7	7	0
Контроль протечки воды	6	6	6	0	0	0	0	0
Контроль температуры	6	6	3	5	5	5	5	0
Контроль утечки газа	8	8	5	0	0	0	0	0
Сообщение об отключении электричества	2	2	2	2	2	2	2	0
Частичная постановка и снятие с охраны	3	3	3	3	3	3	3	3
Прослушивание помещения	3	3	3	3	3	3	3	0
Управление отопительными приборами	1	0	1	0	0	0	0	0
Получение тревожных снимков	4	4	4	4	4	4	4	4
Функция видеозаписи	5	5	5	5	5	5	5	5
Функция «антиглушения»	4	4	4	4	4	4	4	4
Функция ежедневного отчёта по SMS	3	3	3	3	3	3	3	3
Функция тревожной кнопки	2	2	2	2	2	0	0	0
Включение сигнала тревоги при срабатывании датчиков	5	5	5	5	5	5	5	0

Таблица 3 – Матрица рассчитанных оценок

	Дом	Квартира	Дача	Офис	Магазин	Гараж	Склад	Автомобиль	$f(X)$
Sapsan Pro 6	69	68	63	53	53	51	51	15	423
Страж Sheriff	55	54	49	39	39	39	39	3	317
Страж Sokol-Prof	57	56	51	41	41	39	39	3	327
ДРАКОН	57	56	51	41	41	39	39	3	327
Falcon Eye i-Touch	47	47	44	33	33	31	31	0	266
TAVR-2	48	48	45	41	41	39	39	3	304
КСИТАЛ GSM-12T	61	60	55	45	45	43	43	7	359
UCM	57	57	54	50	50	50	50	19	387

Из таблицы 3 очевидно, что в рамках сформулированной задачи оптимизации для произвольного объекта контроля предпочтителен выбор системы Sapsan Pro 6, затем UCM и КСИТАЛ GSM-12T по убыванию.

Представленный пример с достаточной очевидностью иллюстрирует один из подходов оптимального выбора системы контроля для произвольного объекта. В рамках представленной модели для каждого конкретного объекта или контролируемой среды могут быть сформулированы:

1. требования, отображаемые в функциях контроля;
2. весовые значения функций контроля, выраженные в экспертных оценках;
3. различные методы свёртки частных показателей измерений;
4. различные задачи оптимизации, основанные на выбранных методах свёртки.

Представленная модель может найти применение при построении систем мониторинга различных объектов и сред или при разработке универсальных технических решений систем контроля.

#### Литература

1. Селиванова З. М., Стасенко К. С. Теоретические основы построения интеллектуальных информационно-измерительных систем допускового контроля теплопроводности теплоизоляционных материалов : монография / Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 200 с., С. 74.
2. Салимов В. Д., Шарыпов С. А. Построение оптимальной системы объектового контроля и мониторинга. Постановка задачи // «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки»: Электронный сборник статей по материалам XXX студенческой международной научно-практической конференции. — Новосибирск: Изд. «СибАК». — 2015. — № 3 (29) / [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://www.sibac.info/archive/Technic/3\(29\).pdf](http://www.sibac.info/archive/Technic/3(29).pdf). С. 88-96.

## References

1. Selivanova Z. M., Stasenkov K. S. Teoreticheskie osnovy postroenija intellektual'nyh informacionno-izmeritel'nyh sistem dopuskovogo kontrolja teploprovodnosti teploizoljacionnyh materialov : monografija / Tambov : Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2015. – 200 s., S. 74.
2. Salimov V. D., Sharypov S. A. Postroenie optimal'noj sistemy ob#ektovogo kontrolja i monitoringa. Postanovka zadachi // «Nauchnoe soobshhestvo studentov XXI stoletija. Tehniceskie nauki»: Jelektronnyj sbornik statej po materialam XHH studencheskoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticeskoj konferencii. — Novosibirsk: Izd. «SibAK». — 2015. — № 3 (29) / [Jelektronnyj resurs] — Rezhim dostupa. — URL: [http://www.sibac.info/archive/Technic/3\(29\).pdf](http://www.sibac.info/archive/Technic/3(29).pdf). С. 88-96.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.140

Скиба В.Ю.<sup>1</sup>, Зверев Е.А.<sup>2</sup>, Вахрушев Н.В.<sup>3</sup>, Гаврилов А.К.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-8242-2295, кандидат технических наук, доцент;<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-4405-6623, кандидат технических наук;<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-2273-5329, аспирант;<sup>4</sup>студент,

Новосибирский государственный технический университет

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ПТМ-2\_15 в плановом периоде 2015-2016 гг.***МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПЛАЗМЕННО-НАПЫЛЕННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ****Аннотация**

*В работе представлены результаты моделирования процесса индукционного нагрева токами высокой частоты при оплавлении плазменного покрытия. Задача определения остаточных напряжений в покрытии решена методом конечных элементов с использованием программных комплексов ANSYS и SYSWELD. Проверка результатов численного моделирования осуществлялась посредством экспериментального определения остаточных напряжений. В оплавленном плазменном покрытии формируются сжимающие остаточные напряжения, а так же наблюдается уменьшение пористости и более равномерное распределение микротвердости, что способствует повышению надежности деталей машин.*

**Ключевые слова:** плазменное напыление, индукционный нагрев ТВЧ, оплавление, поверхностный слой, конечно-элементное моделирование.

Skeeba V.Yu.<sup>1</sup>, Zverev E.A.<sup>2</sup>, Vakhrushev N.V.<sup>3</sup>, Gavrilov A.K.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-8242-2295, PhD in Engineering, Associate professor;<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-4405-6623, PhD in Engineering;<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-2273-5329, Postgraduate student;<sup>4</sup>Student,

Novosibirsk State Technical University

*This study was supported by a NSTU grant (project No. ТП-ПТМ-2\_15)***SIMULATION OF THE INDUCTION HEATING PROCESS OF WEAR-RESISTANT PLASMA COATINGS****Abstract**

*The simulation results of process of high-frequency induction heating at melting plasma coating are presented in this paper. The problem of determining the residual stress in the coating is solved by the finite element method with the use of ANSYS and SYSWELD software systems. The numerical simulations results were checked by experimental measurement of residual stresses. Formation of compressive residual stresses as well as porosity reduction and more uniform distribution of microhardness are observed in the melted plasma coating, thereby increasing the reliability of machine parts.*

**Keywords:** plasma spraying, induction heating HFC, melting, surface layer, finite-element modeling.

**П**роблему повышения надежности выпускаемых изделий невозможно решить без разработки и совершенствования современных технологий поверхностного упрочнения. Среди наиболее распространенных в промышленности методов поверхностного упрочнения деталей особое место занимает процесс плазменного напыления износостойких покрытий [1]. Несмотря на ряд очевидных достоинств, которые присущи данному методу, ему свойственны и недостатки, обусловленные нестабильностью показателей качества напыленного слоя: степени расплавленности порошкового материала, количества и размера пор, а также характера границы между покрытием и основой. Эти показатели закономерно определяют адгезионную прочность покрытий, знак и величину остаточных напряжений в слое покрытия. Так, относительно невысокий уровень адгезионной прочности при высоких контактных давлениях может являться причиной нарушения сплошности поверхности плазменных покрытий в виде отслоений и сколов частиц покрытия в процессе эксплуатации оборудования, что, естественно, ограничивает его технический ресурс.

Для увеличения адгезионной прочности, уменьшения пористости, ликвидации нерасплавленных частиц порошка в структуре покрытий и обеспечения равномерного распределения микротвердости по глубине упрочненного слоя используют повторное оплавление покрытия концентрированными источниками энергии [2, 3].

Анализ технологических возможностей основных методов обработки концентрированными источниками энергии (электродуговой, электронно-лучевой, лазерный, плазменный и индукционный), которые можно использовать для повторного высокоэнергетического воздействия на структуру плазменных покрытий, показал, что при повторной

обработке токопроводящих плазменных покрытий явным преимуществом обладает высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты (ТВЧ) [4]. Характерной особенностью этого процесса является то, что источник нагрева является объемным и выделение энергии осуществляется в поверхностном слое, толщина которого определяется частотой тока, удельным электрическим сопротивлением и теплофизическими характеристиками материала покрытия. Выбор соответствующей частоты генератора позволяет осуществлять одновременный нагрев во всей толщине нанесенного покрытия.

При данной технологии сложной задачей является обеспечение качества оплавленных покрытий. Основной проблемой является определение области рациональных режимов обработки. Необходимо учитывать, что чрезмерный нагрев приводит к изменению химического и фазового составов, к росту остаточных напряжений и, следовательно, к снижению работоспособности покрытий. Для решения данной проблемы целесообразным является применение математического моделирования.

Целью работы является разработка математической модели индукционного нагрева ТВЧ при оплавлении покрытия и сопоставление результатов численного моделирования с данными экспериментальных исследований.

#### Методика экспериментального исследования

Покрытия наносили методом плазменного напыления на пластины размером 100x10x10 мм, изготовленные из стали 20. С целью активации поверхности образцы подвергались струйно-абразивной очистке частицами электрокорунда марки 13А (до шероховатости  $R_z = 50...75$  мкм) [3].

В качестве материала для напыления покрытия использовали порошок хромистого чугуна марки ПГ-С27 (с фракционным размером 50...100 мкм). Напыление производилось на установке "Киев-7" плазмотроном ПУН-8 мощностью 40 кВт. Режимы напыления: сила тока дуги  $I = 140$  А; напряжение  $U = 140$  В; расход плазмообразующего газа (воздуха)  $G = 18$  л/мин, при давлении  $P = 0,4$  МПа; дистанция напыления  $L = 110$  мм; скорость перемещения плазмотрона  $V = 12$  м/мин [1].

Оплавление поверхности образцов осуществлялось на экспериментальной установке с плавным регулированием скорости. Источником энергии служил генератор марки ВЧГ 6-60/0.44 с рабочей частотой тока  $440 \cdot 10^3$  Гц. Процесс нагрева осуществлялся по глубинной схеме (глубина выделения энергии 0,6...0,8 мм) непрерывно-последовательным способом. Использовался индуктор петлевого типа, оснащенный ферритовым магнитопроводом марки N87 с магнитной проницаемостью  $\mu_i = 2200$  [5]. Коэффициент теплоотдачи при охлаждении на воздухе -  $\alpha = 3 \cdot 10^3$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Удельная мощность нагрева варьировалась в пределах  $q_n = (2,8...3,4) \cdot 10^8$  Вт/м<sup>2</sup>, а скорость перемещения детали  $V_d = 20...120$  мм/с. Ширина активного провода индуктора составляла  $R_n = 2$  мм, обработка осуществлялась с зазором  $\Delta = 0,1...0,2$  мм.

Определение пористости покрытия осуществлялось металлографическим методом [4]. Исследования структуры выполнялось на световом микроскопе *NIKON Eclipse MA100*. Микротвердость (*HV*) покрытий определялась на приборе *Wolpert Group 402MVD*. Исследование остаточных напряжений проводилось методом электролитического травления [5].

#### Математическое моделирование

Создание расчетной модели осуществлялось в комплексе *ANSYS*. Генератором была сформирована гексаэдрическая КЭ сетка с использованием следующих типов конечных элементов: *Solid bodies* – твердые тела моделировались 8-узловыми тетраэдрами *SOLID 45*; *Surface bodies* поверхностные тела моделировались 4-узловыми 4-угольными оболочковыми элементами – *SHELL 63*; *Line bodies* – линейные тела моделировались 2-узловыми линейными элементами *LINK 8*. Размер конечных элементов составлял 0,01...1 мм. Общее количество элементов (*Elements*) – 74800 (рис. 1, а).

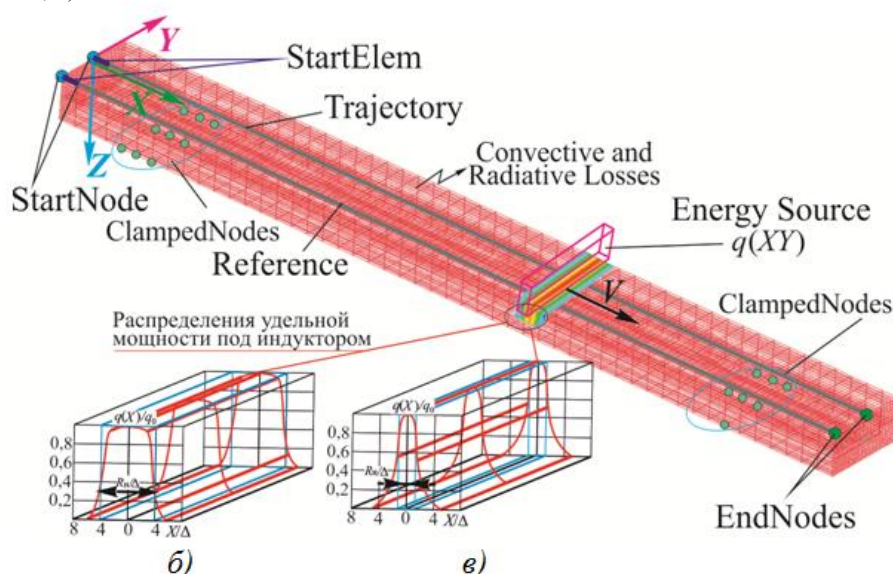


Рис. 1 – Конечно-элементная модель образца и характер распределения удельной мощности под индуктором:  $q_0$  – максимальное значение удельной мощности;  $b$  – ширина паза магнитопровода (1,2...2 мм);  $\Delta$  – величина зазора между индуктором и деталью (0,1...0,8 мм). а) – КЭМ; б) –  $b/\Delta = 10$ ; в) –  $b/\Delta = 1$

При создании КЭ модели были созданы следующие компоненты: «Volume» - группа трехмерных элементов, обозначающих обрабатываемый объект; «Trajectory» - группа одномерных элементов, которая определяет траекторию перемещения источника энергии высокой концентрации; «Reference» - опорная эквидистанта – группа одномерных элементов, способствующая ориентированию локальной системы координат источника энергии; «StartElem» - стартовые элементы начала действия источника; «StartNodes» и «EndNodes» - начальные и конечные узлы на траектории перемещения; «Skin» - группа двумерных элементов, обозначающие поверхности, по которым происходит конвективные и радиационные тепловые потери (*Convective and Radiative Losses*); «ClampedNodes» - группа узлов, по которым происходит закрепление пластины.

Моделирование процесса ТВЧ осуществлялось в системе *SYSWELD*, позволяющей производить расчеты температурных полей, распределения твердости, внутренних напряжений и деформаций.

Для того чтобы воспользоваться математическим аппаратом теории теплопроводности, необходимо описание теплового источника в месте его действия. При обработке ТВЧ форма источника в плоскости *X-Y* представляет собой прямоугольник, стороны которого определяются длиной *l* и шириной паза магнитопровода *b* (рис. 2).

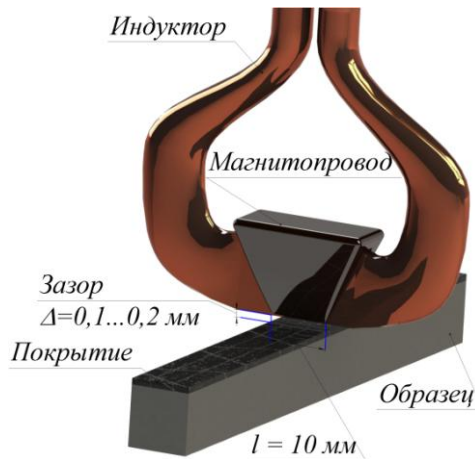


Рис. 2 – Общий вид зоны обработки

Распространение индуктивного тока на поверхности обрабатываемого изделия будет определять распределение удельной мощности. Вдоль оси *Y* распределение удельной мощности равномерно, а по оси *X* - определяется отношением ширины паза магнитопровода *b* к величине зазора  $\Delta$  между обрабатываемой деталью и активным проводом индуктора. Кривые распределения удельной мощности представлены на рисунке 1 б и 1 в. Здесь отношение

$q(X)/q_0 = \left( H_x / H_0 \right)^2 = f(X)$ , где  $q(X)$ ,  $q_0$ ,  $H_x$ ,  $H_0$  – значения удельной мощности и напряженности магнитного поля на поверхности.

Принимая во внимание результаты работ [6, 7], можно отметить стадийный характер процесса перераспределения выделяемой энергии по глубине материала при индукционном нагреве ТВЧ. Распределение мощности по глубине материала описывается зависимостью

$$q(Z) = q_0 e^{-Z \cdot \sqrt{\frac{\pi \mu_0 \mu(T) f}{\rho_s(T)}}}, \quad (1)$$

где  $q_0$  – мощность, выделяемая в поверхностном слое;  $\rho_s$  и  $\mu$  – удельное электрическое сопротивление и относительная магнитная проницаемость материала соответственно.

Выделение энергии происходит послойно, глубина проникновения тока будет увеличиваться до тех пор, пока вся подводимая энергия не будет поглощена горячим слоем, потерявшим ферромагнитные свойства. Поэтому по мере расширения зоны, в которой материал теряет свои магнитные свойства, будет наблюдаться и постепенное уменьшение уровня удельной мощности, связанное с изменением значений параметров  $\rho_s$  и  $\mu$ . В значительной степени максимальная глубина проникновения тока зависит от частоты.

Специфика перераспределения выделяемой энергии по глубине материала была учтена в процессе формирования параметров конечно-элементной модели. Необходимые зависимости теплофизических и физико-механических характеристик принимались согласно данным, представленным в работе [7].

#### Результаты и обсуждение

В результате численного моделирования были получены распределения тепловых полей в процессе оплавления плазменного покрытия. Как видно из рисунка 3, температура на поверхности детали, на глубине равной толщине покрытия ( $h = 0.5 \sim 1$  мм) достигает значений порядка  $1200^\circ\text{C}$  (температуры плавления порошка марки ПГ-С27).

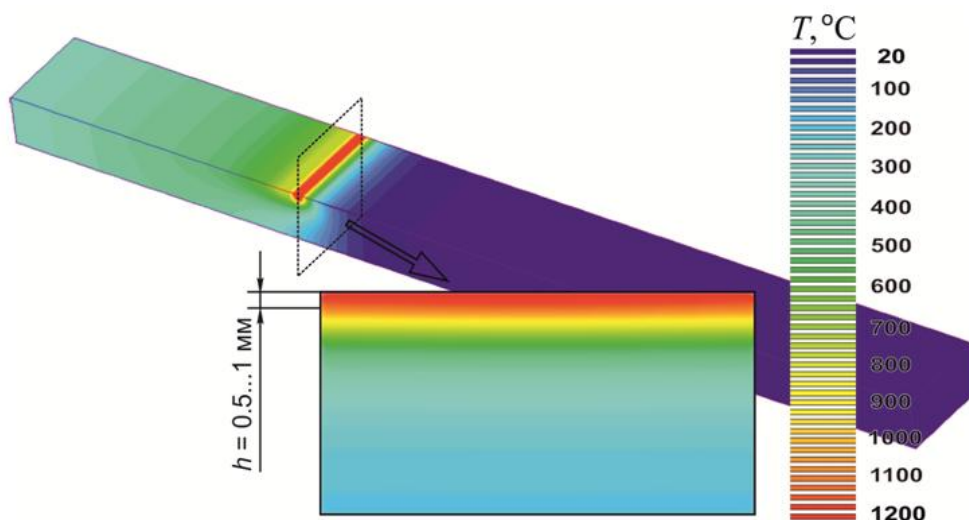


Рис. 3 – Распределение тепловых полей в процессе оплавления ТВЧ:

$$q_{\text{ист}} = 3,4 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2, V_{\text{ист}} = 100 \text{ мм/с}$$

Результаты металлографического анализа оплавленных покрытий показывают, что в структуре практически ликвидируются поры и нерасплавленные частицы порошка, отсутствуют участки с несплошностью на переходной границе (рис. 4 а). Исследование динамики процесса позволило определить скорости нагрева (охлаждения), которые достигают следующих значений:  $V_H = 5200 \text{ }^\circ\text{C/с}$ ,  $V_O = -2800 \text{ }^\circ\text{C/с}$ .

На рисунке 4 б представлено поле распределения остаточных напряжений (осевых). Уровень  $\sigma_{\text{сж}}$  на поверхности достигает значений -120...-130 МПа, причем пик растягивающих напряжений смещен на глубину порядка 0,8...1,2 мм.

Таким образом, средствами конечно-элементных комплексов *ANSYS* и *SYSWELD* с учетом характерных особенностей распределения тепловой энергии при индукционном нагреве разработана математическая модель оплавления покрытия. Получены значения температурных полей и скоростей нагрева-охлаждения.

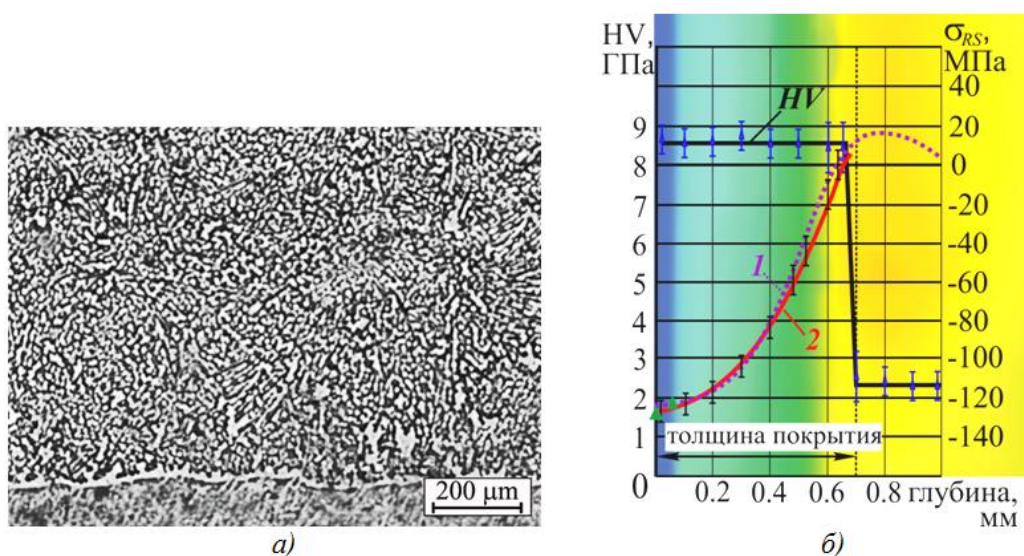


Рис. 4 – Качественные показатели плазменного покрытия после оплавления ТВЧ:

- а) структура оплавленного плазменного покрытия;
- б) распределение микротвердости по глубине слоя на фоне остаточных напряжений:
  - 1 - расчетная эпюра осевых остаточных напряжений;
  - 2 - эпюра остаточных напряжений, полученная экспериментально

При нагреве ТВЧ в покрытии формируются остаточные напряжения сжатия, уровень которых составляет порядка -120...-130 МПа, наблюдается уменьшение пористости с 12 % до 1 % и повышение равномерности распределения микротвердости по глубине слоя. Использование конечно-элементной модели позволит определить рациональные режимы при оплавлении плазменных покрытий посредством индукционного нагрева ТВЧ.



## Литература

1. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А. Методика нанесения плазменных износостойких покрытий // Научный вестник НГТУ. 2014. № 2(55). С. 156-165.
2. Структурные особенности износостойких плазменных покрытий после воздействия токами высокой частоты / Е.А. Зверев, Ю.С. Чёсов, Н.В. Вахрушев, П.В. Трегубчак, Д.Ю. Зарубин // Актуальные проблемы в машиностроении. 2015. № 2. С. 347-353.
3. Чесов Ю.С., Зверев Е.А. Качество износостойких плазменных покрытий после индукционного нагрева // В мире научных открытий. 2015. № 2(62). С. 248-266.
4. Структура износостойких плазменных покрытий после высокоэнергетического воздействия ТВЧ / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, В.В. Иванцовский, В.Ю. Скиба, Н.В. Плотникова, Д.В. Лобанов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2014. № 4 (65). С. 11-18.
5. Анализ напряженно-деформированного состояния материала при высокоэнергетическом нагреве токами высокой частоты / В.Ю. Скиба, В.Н. Пушнин, И.А. Ерохин, Д.Ю. Корнев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2014. № 3 (64). С. 90-102.
6. Моделирование напряженно-деформированного состояния материала в программном комплексе SYSWELD при поверхностной закалке ТВЧ / В. Ю. Скиба, В. Е. Воротников, Р. А. Гарин, Е. А. Гарин // В мире научных открытий. 2010. №2-3. С. 16-19.
7. Иванцовский В.В., Батаев В.А. Упрочнение поверхностных слоев деталей машин с использованием высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты // Ползуновский вестник. 2005. № 2-2. С. 104-112.

## References

1. Chjosov Ju.S., Zverev E.A. Metodika nanosenija plazmennih iznosostojkih pokrytij // Nauchnyj vestnik NGTU. 2014. № 2(55). S. 156-165.
2. Strukturnye osobennosti iznosostojkih plazmennih pokrytij posle vozdejstvija tokami vysokoj chastoty / E.A. Zverev, Ju.S. Chjosov, N.V. Vahrushev, P.V. Tregubchak, D.Ju. Zarubin // Aktual'nye problemy v mashinostroenii. 2015. № 2. S. 347-353.
3. Chesov Ju.S., Zverev E.A. Kachestvo iznosostojkih plazmennih pokrytij posle indukcionnogo nagreva // V mire nauchnyh otkrytij. 2015. № 2(62). S. 248-266.
4. Struktura iznosostojkih plazmennih pokrytij posle vysokojenergeticheskogo vozdejstvija TVCh / Ju.S. Chjosov, E.A. Zverev, V.V. Ivancivskij, V.Ju. Skiba, N.V. Plotnikova, D.V. Lobanov // Obrabotka metallov (tehnologija, oborudovanie, instrumenty). 2014. № 4 (65). S. 11-18.
5. Analiz naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija materiala pri vysokojenergeticheskom nagreve tokami vysokoj chastoty / V.Ju. Skiba, V.N. Pushnin, I.A. Erohin, D.Ju. Kornev // Obrabotka metallov (tehnologija, oborudovanie, instrumenty). 2014. № 3 (64). S. 90-102.
6. Modelirovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija materiala v programmnom komplekse SYSWELD pri poverhnostnoj zakalke TVCh / V. Ju. Skiba, V. E. Vorotnikov, R. A. Garin, E. A. Garin // V mire nauchnyh otkrytij. 2010. №2-3. S. 16-19.
7. Ivancivskij V.V., Bataev V.A. Uprochnenie poverhnostnyh sloev detalej mashin s ispol'zovaniem vysokojenergeticheskogo nagreva tokami vysokoj chastoty // Polzunovskij vestnik. 2005. № 2-2. S. 104-112.

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС  
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



*Мы настоятельно рекомендуем всем нашим авторам зарегистрироваться в системе **Science Index РИНЦ**.*

*Таким образом, авторы могут более детально контролировать список своих публикаций, не только в нашем журнале, но и во всех научных изданиях, входящих в РИНЦ. Регистрация в системе также позволит узнать индекс научного цитирования автора и его публикаций.*

*Подробную инструкцию по регистрации в системе **Science Index РИНЦ** Вы можете найти на нашем сайте <http://research-journal.org/> в разделе «Полезно знать».*



DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.077

Смирнов В.А.<sup>1</sup>, Евстигнеев А.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID 0000-0002-7528-5157, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник;  
<sup>2</sup>аспирант,Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет  
**ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ****Аннотация**

Будучи весьма общим, понятие моделирования в современном строительном материаловедении рассматривается в самых различных контекстах: как построение регрессионных моделей свойств, численный анализ гранулометрии и плотности упаковки, моделирование перколяции по поровому пространству. Академические традиции диктуют необходимость перехода от регрессионных моделей к структурным, для которых характерна большая прогностическая способность. К сожалению, широкая трактовка моделирования приводит к отсутствию системности в выборе методов и усложняет оптимальный выбор стратегии моделирования. Приведен пример ложной замены регрессионной модели на модель, не являющуюся регрессионной, но и не обладающую повышенной прогностической способностью. С целью выявления наилучшей стратегии моделирования нами предлагается рассматривать ее как решение оптимизационной задачи в критериальном пространстве со структурными, вычислительными и неформальными переменными.

**Ключевые слова:** системный подход, моделирование, оптимальность, материаловедение.

Smirnov V.A.<sup>1</sup>, Evstigneev A.V.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID 0000-0002-7528-5157, PhD in engineering, associate professor, leading research officer;  
<sup>2</sup>Postgraduate student,

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)

**EFFICIENCY OF MODELING IN CONSTRUCTION MATERIAL SCIENCE****Abstract**

Despite the strict definition of modeling, there are many means of the modeling process in today material science: regression analysis of properties, numerical analysis of grain distribution and packing, modeling of percolation through pore space and so forth. Academic tradition dictates transition from regression models towards the structural models of higher prognostic ability. Unfortunately, numerous implications of the modeling lead to the absence of consistency and considerably complicate the optimal selection of the modeling methods. The example of the false substitution is illustrated by model that is, while not falling into the class of statistical ones, still not very predictive. Considering the said plurality of meanings and complexity of the optimal strategy selection, for the selection of the efficient modeling strategy we propose to view such a strategy as a solution of optimization problem in the criterial space with structural, computational and non formal variables.

**Keywords:** systems approach, modeling, efficiency, material science.

**М**атематическое моделирование исходно означает не более чем замену исследуемого объекта каким-либо логико-математическим его представлением, допускающим точный или приближенный аналитический или же численный анализ, и, возможно, выполнение указанного анализа с последующей интерпретацией результатов в терминах предметной области. В настоящее время в строительном материаловедении термин «математическое моделирование» используется в самых различных контекстах и может, в частности, означать:

- экспериментально-статистическое моделирование: построение и статистическое исследование аналитических зависимостей на основе эмпирических данных, включая последующую визуализацию;
- получение новых или уточнение существующих аналитических взаимосвязей между параметрами структуры и/или показателями макроскопических свойств материалов, выполняемые на основе известных феноменологических или фундаментальных моделей нижележащих структурных уровней (оценка реологических характеристик на основе положений физической химии, оценка барьерных свойств макроструктуры на основе морфологии микроструктуры и т.п.);
- получение новых или уточнение существующих геометрических моделей структуры строительных композитов (как правило, на уровне макроструктуры) с целью оптимизации гранулометрического состава дисперсных фаз и/или оценки взаимосвязей гранулометрического состава, напряженно-деформированного состояния, барьерных свойств и физико-механических показателей.

Применительно к определению целесообразности тех или иных методов на первый план выходят понятия, обозначаемые терминами «эффективность» и «оптимальность». В практике зарубежных научных исследований принято дополнительно разграничивать два понятия, в отечественной литературе обозначаемые термином «эффективность»:

- *efficiency*: количественная (как правило) характеристика, определяемая соотношением текущих и минимально необходимых затрат ресурсов для достижения заданной цели; соответствует минимизации посторонних затрат ресурсов [1];
- *effectiveness*: качественная характеристика метода, связанная с принципиальной возможностью достижения цели в контексте сравнительного анализа затрат ресурсов.

Как видим, содержание, соответствующее термину *efficiency*, взаимосвязано с содержанием, которое присуще понятиям *качества* и *оптимальности* [2, 3]: оптимальное решение – наилучшее решение в данном классе; решение, соответствующее наибольшему качеству (как количественной характеристике оптимальности). В свою очередь, содержание, соответствующее термину *effectiveness*, пересекается с содержанием понятия *продуктивности*.

Анализу эффективности метода моделирования как возможности достижения цели (продуктивности) не присуща достаточная плодотворность. С точки зрения необходимости решения инженерной задачи построение

параметрической регрессионной модели показателя целевого макроскопического свойства (однокритериальная задача) строительного материала является достаточным, и, наряду с этим, наименее затратным в части ресурсов, необходимых для интерпретации в терминах предметной области: интерпретация состоит или в указании требуемого направления в рецептурно-технологическом пространстве, или в констатации включения оптимума в область варьирования предикторов.

В то же время, внимание, уделяемое методам построения концептуальных, функциональных и структурных моделей строительных композитов, убедительно свидетельствует о том, что экспериментально-статистическим моделированием в строительном материаловедении ограничиваться как минимум не принято – оценка научной значимости академической работы зачастую связана с классом используемых в работе моделей. Последнее отражает объективное обстоятельство малой степени общности экспериментально-статистических моделей свойств.

К сожалению, необходимость выхода за рамки регрессионного моделирования в прикладных и академических работах строительной тематики часто проявляется бессистемно. Включение аналитических и численных выкладок носит характер удовлетворения требования «академичности», а сами выкладки при этом имеют невысокую (в сравнении с регрессионными моделями) прогностическую ценность, так как содержат большое число поправочных коэффициентов и эмпирических параметров, лишь опосредованно связанных с объективными структурными закономерностями.

В качестве примера можно привести зафиксированную в нормативных документах модель условного критического коэффициента интенсивности напряжений бетонного образца-куба с надрезом:

$$K = \frac{F}{\sqrt{b^3}} (1,83\lambda^{1/2} - 430\lambda^{3/2} + 3445\lambda^{5/2} - 11076\lambda^{7/2} + 12967\lambda^{9/2}), \quad (1)$$

где  $F$  – сила, соответствующая образованию магистральной трещины, Н;  $b$  – длина ребра образца, м;  $\lambda$  – относительная длина надреза.

Анализ соотношения (1) свидетельствует, что:

– предсказанное моделью значение коэффициента интенсивности напряжений чрезвычайно чувствительно к варьированию длины надреза (на практике для многих классов дисперсно-наполненных композитов подобная зависимость менее выражена);

– зависимость коэффициента интенсивности напряжений от длины надреза существенно нелинейна и включает пять параметров, структурное содержание которых не очевидно.

Фактически, большое число параметров (1) снижает ее прогностическую ценность до уровня регрессионных моделей. Тем не менее, модели, подобные (1), часто принимаются как структурные и даже формулируются как *законы* изменения свойств.

Как показывает приведенный пример, множественность контекстов, сложившихся академических традиций и формальных алгоритмов построения и анализа моделей затрудняют как систематизацию существующих многочисленных наработок в области моделирования структуры и свойств материалов, так и определение оптимальной стратегии выбора методов, соответствующей наибольшей эффективности с точки зрения минимума совокупных затрат ресурсов, необходимых для достижения цели.

Первым шагом на пути преодоления обозначенного противоречия является – как и в других инженерных дисциплинах – использование положений, полученных в рамках исследования операций и системного анализа. Системный подход – методология исследования свойств, структуры и функций объекта посредством представления в виде систем с межэлементными взаимосвязями и взаимовлиянием [3]; будучи основан на целостном представлении объектов исследования, системный подход является универсальным и адекватным при анализе любых сложных систем. Использование системного подхода также можно понимать как решение оптимизационной задачи, но уже в пространстве характеристических признаков методов моделирования. Переменные этого пространства связаны, в частности, со следующими факторами:

– объективными показателями композиционного материала как гетерогенной многофазной системы (например – с характером доминирующего взаимодействия на очередном структурном уровне композита [4]);

– объективными затратами вычислительных ресурсов на стадии численного эксперимента (как правило, значимость этого фактора невелика);

– объективно-субъективными затратами ресурсов исследователя на стадиях построения и интерпретации модели (например, увеличение затрат при переходе от регрессионных моделей к моделям из первых принципов);

– объективно-субъективными академическими традициями, обуславливающими класс моделей (грубодисперсные системы – геометрические модели упаковки; материалы для ограждающих конструкций – процессы переноса и деструкции; конструкционные материалы – модели механики разрушения, и др.).

Несмотря на то, что возможность количественного представления целевой функции как скалярного поля (затрат ресурсов) в данном пространстве до настоящего момента представляется проблематичной, даже полукачественные представления будут способствовать формулировкам методологии эффективного моделирования.

#### Литература

1. Merriam-Webster's Dictionary and Thesaurus. Springfield: Merriam-Webster, 2016. – 939 p.
2. Case Studies in Operations Research: Applications of Optimal Decision Making / Ed. by K.G. Murty. New York: Springer, 2015. – 543 p.
3. Uncertainty and Optimality: Probability, Statistics and Operations Research / Ed. by J.C. Misra. New Jersey: World Scientific, 2002. – 559 p.
4. Smirnov, V.A. Particle System Dynamics Software for the Design of Constructional Composites / V.A. Smirnov, E.V. Korolev, V.A. Evsigneev // Proc. of 2015 International Conference on Data Mining, Electronics and Information Technology (DMEIT'15), August 10-11, 2015, Pattaya, Thailand. – pp. 139-146.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.011

Сморчков А.А.<sup>1</sup>, Керев С.А.<sup>2</sup>, Дубраков С.В.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-1524-0555, Кандидат технических наук,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-9980-9867,<sup>3</sup>ORCID: 0000-0001-5567-0114,

Юго-Западный государственный университет

**ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ****Аннотация**

В статье рассмотрены подходы по определению несущей способности длительно эксплуатируемых изгибаемых и сжатых элементов. Показано, что несущая способность зависит от температурно-влажностных условий эксплуатации и длительности приложения эксплуатационной нагрузки. Полученные зависимости базируются на многолетних экспериментальных исследованиях деревянных элементов и опыта обследования строительных конструкций. Предложенные формулы позволяют оценить техническое состояние конструкций из древесины при их длительной эксплуатации.

**Ключевые слова:** длительная эксплуатация, техническое состояние, проверочные расчеты, несущая способность.

Smorchkov A.A.<sup>1</sup>, Kereb S.A.<sup>2</sup>, Dubrakov S.V.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-1524-0555, PhD in Engineering,<sup>2</sup>ORCID:0000-0002-9980-9867,<sup>3</sup>ORCID:0000-0001-5567-0114,

South-West State University

**THE INFLUENCE OF CONTINUOUS EXPLOITATION ON THE BEARING CAPACITY OF WOODEN ELEMENTS****Abstract**

In the article the approaches to definition of bearing capacity of long-operated bending and compression elements. It is shown that the bearing capacity depends on the temperature and humidity conditions of operation and duration of application of the operational load. The obtained dependences are based on years of experimental studies of wooden elements and experience of inspection of building structures. The proposed formulas allow to evaluate the technical condition of structures of wood with their long-term operation.

**Keywords:** long-term operation, technical condition, check calculations, bearing capacity.

**К**леевые деревянные конструкции обладают большей удельной прочностью, сопоставимой с прочностью стали, что позволяет создавать легкие конструктивные системы высокой несущей способности при незначительной массе на 1 м<sup>2</sup> перекрываемой площади.

Массовыми несущими конструкциями из клееной древесины промышленного изготовления являются балки, фермы, рамы, а также пространственные конструкции – купола (ребристые, ребристо-кольцевые, сетчатые и т.п.), оболочки и т.п.

Эти конструкции испытывают напряжения от изгиба, сжатия или их комбинаций, что может вызвать потерю устойчивости (устойчивость плоской формы деформирования при изгибе или при сжатии с изгибом, устойчивость при сжатии).

Оценку технического состояния длительно эксплуатируемых конструкций из древесины проводят по результатам проверочных расчетов, используя данные при их обследовании: геометрические параметры элементов с учетом дефектов и повреждений; механические и деформационные характеристики материала; величины нагрузок и характеристики воздействий.

Древесина является анизотропным материалом с реономными свойствами. Зависимость механических и деформационных свойств от влажности, температуры, длительности нагружения вызывает необходимость в корректировке основных формул действующего нормативного документа [1].

Целью настоящей работы является использование новых знаний в оценке несущей способности элементов строительных конструкций из древесины после их длительной эксплуатации.

Несущую способность элементов, работающих на изгиб, из условия прочности по нормальным напряжениям, можно определить по формуле:

$$M_{et1} = R_u^* \cdot W_{et}, \quad (1)$$

где  $R_u^*$  – прочность древесины при изгибе (по результатам испытаний образцов отобранных определенным образом из эксплуатируемой конструкции);  $W_{et}$  – момент сопротивления сечения с учетом дефектов и повреждений.

Несущую способность элементов, работающих на изгиб из условия устойчивости плоской формы деформирования, можно определить по формуле:

$$M_{et2} = R_u^* \cdot W_{et} \cdot \varphi_m^*, \quad (2)$$

где  $R_u^*$  и  $W_{et}$  – см. формулу (1);  $\varphi_m^*$  – коэффициент устойчивости плоской формы деформирования.

Величину коэффициента  $\varphi_m^*$  при длительной эксплуатации следует определять по формуле:

$$\varphi_m^* = 0.7 \cdot \left(\frac{E_x}{R_c}\right)_w^* \cdot \frac{b_{et}^2}{l_p \cdot h_{et}} \cdot k_\phi, \quad (3)$$

где  $E_x, R_c$  - модуль деформаций и прочность древесины на сжатие с учетом влажностного воздействия среды и длительности эксплуатации;  $l_p, h_{et}, b_{et}$  - длина элемента, высота и ширина сечения соответственно;  $k_\phi$  - коэффициент формы эпюры изгибающего момента [1].

В существующих нормах [1] соотношение  $\frac{E_x}{R_c} = 200$ . По данным исследований Б.Е. Родина [2] и А.М. Иванова [3] отношение  $\frac{E_x}{R_c}$  необходимо принимать с учетом влажности и длительности приложения нагрузки (см. рис. 1).

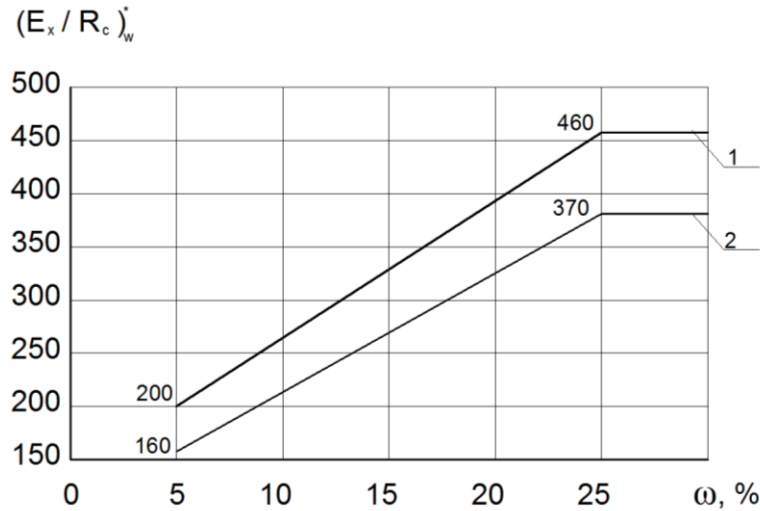


Рис. 1. – График зависимости  $\left(\frac{E_x}{R_c}\right)_w^*$  от влажности  $\omega$  при кратковременном (1) и длительном нагружении (2) (откорректированы авторами статьи).

В балках с соотношением  $\left(\frac{l_p}{h_{et}}\right) \leq 8$  несущая способность лимитируется прочностью на скалывание в опорных зонах [4].

Несущую способность элементов, работающих на изгиб из условия обеспечения прочности по касательным напряжениям, можно определить по формуле:

$$M_{ef3} = \frac{R_{ck}^* \cdot I_{et} \cdot b_{et} \cdot l_p}{4S_{et}}, \quad (4)$$

где  $R_{ck}^*$  - прочность древесины на скалывание (по результатам испытаний образцов отобранных определенным образом из эксплуатируемой конструкции);  $I_{et}$  и  $S_{et}$  - момент инерции и статический момент с учетом дефектов и повреждений; остальные обозначения приведены в формулах (1), (2) и (3).

Условие прочности изгибаемого элемента выполняется, если минимальный изгибающий момент из трех значений:  $M_{ef1}$ ,  $M_{ef2}$  и  $M_{ef3}$  будет больше максимального изгибающего момента в конструкции от действующих нагрузок в реальной расчетной ситуации, т.е.:

$$M_{et(min)} \geq M_g, \quad (5)$$

где  $M_g$  - максимальный изгибающий момент в конструкции от действующих нагрузок в реальной расчетной ситуации.

На величину прогиба элементов из древесины влияют факторы, которые не учитываются в современной нормативной литературе [1].

Во-первых, величина предельного прогиба по СП 20.13330.2011 [6] устанавливается только в зависимости от длины пролета.

Авторские исследования показывают, что наряду с учетом отношения  $E_x/G_{xy}$ , необходимо дифференцированно подходить к величине предельного прогиба в зависимости от отношения  $l/h$  (см. табл. 1)[4].

Таблица 1 – Относительные предельные прогибы элементов при кратковременном и длительном нагружениях

Отношение $l/h$	$\sigma$ , МПа	Предельные величины прогибов – ( $f/l_p$ )	
		кратковременные	длительные
$l/h \leq 8.0$	5,0	1/1250	1/1460
	10,0	1/620	1/500
	15,0	1/420	1/290
$l/h \geq 8.0$	5,0	1/710	1/630
	10,0	1/350	1/340
	15,0	1/240	1/160

Примечание:  $\sigma$  – напряжение в элементе.

Во-вторых, отношение модуля упругости к модулю сдвига не является постоянным, как принято по СП 64.13330.2011 [1], а зависит от сорта древесины (см. табл. 2)[4].

Таблица 2 – Отношение модуля деформации и сдвига в зависимости от сорта древесины

Сорт древесины	I	II	III
$E_x/G_{xy}$	24	20	17

Несущую способность сжатых элементов можно определить по формуле:

$$N_{et} = R_c^* \cdot A_{et} \cdot \varphi_w^*, \quad (6)$$

где  $R_c^*$  – прочность древесины при сжатии (по результатам испытаний);  $A_{et}$  – площадь сечения элемента с учетом дефектов и повреждений;  $\varphi_w^*$  – коэффициента продольного изгиба.

Как показывают исследования Л.П. Дроздовой [5], величина критического напряжения при сжатии зависит от гибкости элемента и длительности приложения нагрузки.

Для длительно эксплуатируемых конструкций, с учётом [2], [3] и [5], коэффициент  $\varphi_w^*$  следует определять по формуле:

$$\varphi_w^* = \left(\frac{E_x}{R_c}\right)_w^* \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot (1 - 0.064 \cdot \lg t_g), \quad (7)$$

где  $(1 - 0.064 \cdot \lg t_g)$  – коэффициент, учитывающий длительность нагружения конструкции[5];  $t_g$  – время эксплуатации, с.

Условие устойчивости сжатого элемента выполняется, если

$$N_{et} \geq N_g, \quad (8)$$

где  $N_g$  – максимальная сжимающая сила от действующих нагрузок;  $N_{et}$  – см. формулу (6).

#### Литература

- СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. [Текст]. – Минрегион России, 2011. – 88 с.
- Родин, Б.Е. Методика расчета на продольный изгиб деревянных стержней с учетом влажности и различного отношения модуля упругости древесины к пределу её прочности на осевое сжатие. [Текст]/ Б.Е. Родин// Вопросы прочности, долговечности и деформативности древесины и конструкционных пластмасс. – МИСИ, 1981. – С. 7-13.
- Иванов, А.М. Расчет элементов деревянных конструкций с учетом продолжительности воздействия нагрузки. [Текст]. Воронеж: ВИСИ, 1957. – 71 с.
- Горностаев С.И. Вопросы безопасности строительных конструкций из композиционных материалов/ С.И. Горностаев [и др.] – Курск.: ООО "Планета+", 2015. – 156 с.
- Дроздова, Л.П. Устойчивость цельных центрально-сжатых элементов деревянных конструкций при длительной нагрузке: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.23.01/ Л.П.Дроздова. – М. 1978. – 18с.
- СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. [Текст]. – Минрегион России, 2011. – 85 с.

#### References

- SP 64.13330.2011. A wooden structure. The updated edition of SNiP II-25-80. [Text]. – Minregion Of Russia, 2011. – 88 p.
- Rodin, B. E. The Method of calculating the longitudinal bending wooden rods with the humidity and different relations of modulus of elasticity of wood to the limit of her strength for axial compression. [Text]/ B. E. Rodin// strength, durability and deformability of wood and structural plastics. – IISS, 1981. – P. 7-13.
- Ivanov, A. M. Calculation of elements of wooden structures, taking into account the duration of the impact load. [Text]. Voronezh: VISI, 1957. – 71 S.
- Gornostayev S. I. security Issues building structures from composite materials/ S. I. Gornostayev [et al.] – Kursk.: ООО Planeta+", 2015. – 156 p.
- Drozdova, L. P. Stability one-piece Central compressed elements of wooden structures for long-term stress: author. dis. ...candidate. tekhn. Sciences: 05.23.01/ L. P. Drozdova. – M. 1978. – 18s.
- SP 20.13330.2011. Loads and impacts. The updated edition of SNiP 2.01.07-85\*. [Text]. – The Ministry Of Regional Development, 2011. 85 p.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.176

Солтанов С.Х.

ORCID: 0000-0001-6002-2509, Аспирант,

Московский государственный областной университет

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ «OCTAFLO EG» И «MAXFLIGHT 04» ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД

## Аннотация

В работе рассмотрены основные экологические последствия использования одних из самых распространённых в аэропортах Московского авиационного узла противообледенительных жидкостей «Octaflo EG» и «Maxflight 04». Представлен и изучен их химический состав. Автором произведены расчеты масштабов деградации прилегающих к перрону территорий. Результатом проведённой аналитической работы стали таблицы негативных экологических свойств обоих флюидов. Даны рекомендации для улучшения состояния окружающей среды при эксплуатации объектов перронного комплекса, в частности, противообледенительной техники.

**Ключевые слова:** Гражданская авиация, утечка, противообледенительная обработка, перронный комплекс, технические жидкости, флюид, гликоль, «Octaflo EG», «Maxflight 04».

Soltanov S. Kh.

ORCID: 0000-0001-6002-2509, Postgraduate student,

Moscow State Regional University

# THE ECOLOGICAL CONSEQUENCES FROM APPLYING OF DE-ICING AND ANTI-ICING LIQUIDS «OCTAFLO EG» and «MAXFLIGHT 04» IN THE PROCESSING OF CIVIL AIRCRAFTS IN AUTUMN-WINTER PERIOD

## Abstract

The paper describes the main environmental impacts from usage some of the most common de-icing fluids "Octaflo EG" and "Maxflight 04" in airports of Moscow aviation hub. Their chemical composition is represented and investigated. The author performed the calculations of scale degradation of territory adjacent to the apron area. The spreadsheet of negative environmental properties of both fluids became as the result from the analytical work. Recommendations are given for improving the state of the environment to the operation at objects of apron complex, in particular, anti-icing equipment.

**Keywords:** Civil aviation, leak, de-icing procedure, apron complex, technical liquids, fluid, powder, «Octaflo EG», «Maxflight 04».

В любом аэропорту северных широт в целях обеспечения безопасности полётов в осенне-зимний период используется комплекс мероприятий по удалению снежно-ледяных отложений с различных частей самолета до его взлета. Чаще всего для создания защитной пленки на поверхности воздушного судна (ВС), применяют противообледенительные жидкости (ПОЖ).

В зависимости от климатических условий (наличия и интенсивности осадков, влажности, давления, температуры окружающей среды (ОС), туманов или других метеорологических явлений) одно ВС может подвергаться обработке несколько раз. Как следствие – неоднократное высыхание, которое ведёт к накоплению сухих остатков. Основная часть ПОЖ стекает на землю во время обработки самолета (75-80%) или сдувается ветром. Сброс оставшейся части на поверхности самолета происходит при взлете. Распыление приурочено к взлетно-посадочным полосам и полётному маршруту. Процесс взлёта сопровождается гидратацией сухих остатков и их превращением в гелеобразные отложения при взаимодействии с влагой, находящейся в воздухе. Объёмы и опасные последствия данной реакции зависят от набора переменных факторов (климатических, орографических (подстилающей поверхности), гидрологических (близости грунтовых вод), технических (объёмов использованной жидкости)).

Насыщенные водой остатки антиобледенительных жидкостей кристаллизуются на перроне, что ведет к гибели микроорганизмов, находящихся в границах аэропорта. Образование ледяных корок на взлетно-посадочных полосах (ВПП) и стоянках воздушных судов затрудняет, либо полностью прекращает процесс аэрации между земной поверхностью и приземным слоем воздуха, следствием чего становится изменение его газового состава. Кислород перестаёт поступать в почву, а углекислый газ в атмосферу.

Смешиваясь со снегом, металлической пылью и другими химическими веществами на перроне, раствор может попасть в грунтовые воды, через имеющуюся дренажную систему аэропорта. Необходимо отметить, что часть поверхностей стоянок и рулёжных дорожек состоит из бетонных плит, имеющих стыки, заполненные рыхлым грунтом, что потенциально может привести к попаданию загрязняющих веществ в водоносные горизонты почвы.

ПОЖи классифицируются на 4 типа. Все ВС в зависимости от метеоусловий обрабатывают либо одной ступенью (тип I), либо двумя ступенями (тип I + IV). Основные экологические и токсикологические показатели жидкостей представлены в таблицах 1 и 2 с изменения согласно ГОСТа 32424-2013.

В соответствие с общепринятыми стандартами SAE/AMS 1424 и ISO 11075 противообледенительная жидкость «Octaflo EG» отнесена к типу I, сертифицирована. Вместе с «Maxflight 04» (тип IV) является одной из двух основных, используемых в аэропортах Московского авиационного узла.

Указанные типы реагентов поставляются в концентрированном и разбавленном виде. Содержание гликоля (этиленгликоля, диэтиленгликоля, пропиленгликоля или их смесей) доходит до 95%.

Максимально эффективное техническое действие жидкости достигается за счёт сильного нагревания (до 80 °C на выходе из распылителя, форсунки). Испарение ПОЖ ведёт к увеличению влажности воздуха. Кроме того, гликоли являются токсичными веществами. Особую опасность для перронного персонала и орнитофауны представляют при

наличии туманов, в которых пары гликолей задерживаются из-за густоты. По степени воздействия на организм относятся к веществам 3-го класса опасности.

Остальную часть составляют следующие элементы: вода, замедлители коррозии (до 1,3-4,1 %), смачивающие агенты, загустители (0,4-0,85%), глицерин (до 3%), водный раствор ацетата калия (РН=9-11), антипенные присадки и изредка красители. Необходимо рассмотреть подробнее каждое из представленных соединений.

Концентрированное вещество типа I разбавляется водой для соответствия точки замерзания применяемой процедуре согласно ГОСТа Р 54264-2010. Стоит отметить, что вода, входящая в состав ПОЖ должна быть дистиллированной, чтобы не ухудшать технические качества получаемой жидкости, но из-за отсутствия на аэродромах необходимых объёмов (сотен тонн) процесс становится не технологичным.

Как замедлитель процесса коррозии применяют фосфаты, натрий азотистокислый (0,01-0,06%), натриевую соль бензойной кислоты (0,25-0,7%), жидкое стекло (0,1-0,9%), триэтанолламин (0,14-0,5%). Следствием этого становится улучшение экологической безопасности и эффективности удаления ледяных отложений.

Фосфаты при попадании в окружающую среду приводят к эвтрофикации водоёмов, а, следовательно, к изменению их химического и биологического состава.

Азотистокислый натрий – сильно ядовит, при попадании внутрь организма может вызывать паралич сосудодвигательного центра и образования в крови метгемоглобина. [1]

Следует отметить, что натриевая соль бензойной кислоты негативно воздействует на плесневые грибы и дрожжи, подавляя активность клеточных ферментов, ответственных за окислительно-восстановительные реакции, обладает мутагенной активностью в отношении митохондриальной ДНК. [2] Триэтанолламин имеет высокую щелочность, может превращаться в нитрозамины (являются канцерогенными).

В составе ПОЖ присутствуют смачивающие агенты – тензиды. Они медленно разрушаются в окружающей среде и токсичны для обитателей водных экосистем.

Использование загустителей обуславливается необходимостью увеличения вязкости ПОЖей для продолжительного нахождения на фюзеляже ВС после обработки. В основном это сульфоцелл и акриловая смола, которые при попадании в жидкую среду увеличивают её вязкость, ухудшая условия жизни для гидробионтов. Водный раствор ацетата калия увеличивает щёлочность окружающей среды (РН=9-11).

Особь, приведённые в таблицах 1 и 2, являются самыми чувствительными биоиндикаторами изменения окружающей среды и рассматриваются в качестве модельных для всех водных организмов согласно ГОСТа 32424-2013 и руководства Р 1.2.3156-13.

Для простейших и рыб жидкость «Octaflo EG» имеет II класс опасности, несмотря на заявленный общий IV класс опасности. Данные выводы можно сделать, изучив экотоксикологические и токсикологические свойства.

Таблица 1 – ПОЖ типа I «Octaflo EG» (с изменениями автора). [3]

Экологические и токсикологические характеристики	Физико-химические свойства
1. Состав жидкости «OCTAFLO EG»: этиленгликоль (ГОСТ 19710-) - 88,0% вода очищенная — 10,0% комплексная присадка — 2,0% (производство «OCTAGON PROCESS INC.»)	1. Внешний вид Жидкость красно-оранжевого цвета от прозрачного до мутного
2. Химическая характеристика жидкости — этан-1,2-диол с ингибиторами коррозии.	2. Показатель преломления при 20°C, в пределах нормы: 1,4206-1,4236
3. Экотоксическое действие жидкости: Токсичность на дафниях (острая): EC <sub>50</sub> (48 часов) > 0.100 мг/л (Daphnia Magna) – I кл. Токсичность на рыбах: LC <sub>50</sub> (96 часов) > 0.100 мг/л (Pinephales Promelas) – I кл.	3. Водородный показатель (pH) при 20°C нормы: 7,8 — 8,6
4. Токсикологические свойства: LD50 /орально/ крыса: более 2000 мг/кг – III кл Первичное раздражающее действие на кожу/ кролик/: не вызывает раздражения. Первичное раздражающее действие на слизистую/кролик/: не вызывает раздражения.	4. Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup> , не менее 1,104
5. Степень распада жидкости: более 35% в течение 5 дней при температуре 20°C, остальная часть в течение 28 дней	5. Температура замерзания объемной смеси 50:50, не выше - 33 °C (факультативно)
6. Потребность кислорода при разложении — 1,26 кг кислорода на 1 кг жидкости.	6. Поверхностное натяжение при 20°C, мН/м, 40 (факультативно)
7. Растворимость: в воде — неограниченная; в других растворителях — растворим в полярных растворителях.	
8. Класс опасности — 4 класс по ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»	



ПОЖ «Maxflight 04» (тип IV) – против- и антиобледенительная жидкостью. Состав основан на пропиленгликоле. Данный тип применяется только при двухступенчатой обработке воздушных судов и значительном обледенении фюзеляжа и кромок крыла. «Maxflight 04» имеет высочайший резерв безопасности из всех имеющихся в наличии жидкостей SAE типа IV. Она является более сильным токсикантом для окружающей среды. Из данных таблицы 2, можно сделать вывод: жидкость данного типа относится ко II классу опасности, так как, например, для уничтожения половины особей *Oncorhynchus Mykiss* (радужная форель) требуется мизерная доза – всего 1,732 мг/л. Сомнения вызывает выборочное действие жидкости на организмы, так как для одних оно значительно, для других – не определено.

Таблица 2 – ПОЖ типа IV «Maxflight 04» с изменениями автора [3]

Экологические и токсикологические характеристики	Физико-химические свойства
1. Потребность кислорода, биологическая 0,49 мг/О <sub>2</sub> /л. При t=20°C.	1. Изумрудно-зеленая жидкость
2. Потребность кислорода, химическая 0,78 мг/О <sub>2</sub> /л При t=20°C.	2. Коэффициент преломления при 20°C = 1,39 - 1,393
3. БПК/ХПК = 0,65	3. Водородный показатель (pH) при 20°C нормы: 6,5 - 7,5
4. Токсикологические свойства и класс опасности согласно ГОСТов: а) LC <sub>50</sub> (48 часов) 814 мг/л <i>Arcatia Tonsa Dana</i> – нет б) EC <sub>50</sub> (24 часа) > 999 мг/л <i>Daphnia Magna</i> – нет в) LC <sub>50</sub> (48 часов) 975 мг/л <i>Daphnia Magna</i> – нет г) LC <sub>50</sub> (10 дней) 5.161 мг/кг Dry Sediment – II кл д) LC <sub>50</sub> (48 часов) 1.732 мг/л <i>Oncorhynchus Mykiss</i> – II кл е) LC <sub>50</sub> (48 часов) 1.975 мг/л <i>Pimephales Promelas</i> – II кл ё) EC <sub>50</sub> (48 часов) 4.197 мг/л <i>Selenastrum Capricornutum</i> – III кл ж) EC <sub>50</sub> (48 часов) 515 мг/л <i>Skeletonema Costatum</i> – нет	4. Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup> , ~ 1,038 кг/дм <sup>3</sup>
5. Биологическое разложение Более 96% в течение 4 дней Более 97 % в течение 3 дней	5. Динамическая вязкость при 20°C 10.000 - 14.500 мПа*с

Минимальный расход жидкости типа I составляет один литр на один квадратный метр поверхности ВС. Согласно публикациям Ассоциации Европейских авиалиний рекомендуемый минимальный расход жидкости для предотвращения обледенения (второй этап двух этапной ПОО) составляет 1.3 – 1.6 л на один квадратный метр обрабатываемых поверхностей. [4]

В течение всего осенне-зимнего периода производится обработка самолётов. Расход жидкости зависит от следующих параметров:

- от типа ВС;
- общей массы снежно-ледовых отложений (СЛО) и массы СЛО, примерзших к обшивке;
- от технологии процесса обработки и техники;
- от квалификации оператора, выполняющего противообледенительную обработку.

Устройствами, производящими облив, чаще всего, являются деайсеры Vestergaard Elephant Beta и Safeaero SDI-218. Vestergaard Elephant Beta имеет три резервуара: 1<sup>ый</sup> бак ёмкостью 4000 литров предназначен под очищенную воду, 2<sup>ой</sup> бак ёмкостью 2000 литров предназначен под жидкость типа I, 3<sup>ий</sup> бак ёмкостью 800 литров предназначен под жидкость типа IV. Таким образом, полный объем составляет 6800 литров. [5]

Safeaero SDI-218 обладает общей ёмкостью баков 8400 л, но сам агрегат морально устарел и со временем будет выведен из эксплуатации из-за малой экологичности и экономичности (медленное функционирование, низкая точность наводящих элементов – рукавов, отсюда большое количество жидкостей, не попадающих на корпус ВС, загрязнение перрона).

В сутки, в зависимости от метеоусловий, в крупном узловом аэропорту северных широт производится обработка минимум 20% от всех вылетающих ВС. Стоит отметить тот факт, что распределение отработанных жидкостей на территории аэродрома происходит неравномерно, точно. Рассчитаем площадь загрязнённого участка при обслуживании одного ВС, который можно покрыть образующейся плёнкой от ПОЖ толщиной – Н в 1 мм, при условии постоянной плотности. Именно такой высоты столба жидкости хватает, чтобы практически полностью остановить газообмен между верхним горизонтом почвогрунта и приповерхностным слоем воздуха.

Рассмотрим 2 случая: с тяжёлыми погодными условиями (наличие осадков, сильный ветер и низкие температуры) и комфортными для авиационной навигации (с температурой, близкой к нулю и безоблачную погоду). При одноступенчатой обработке тратится в среднем 150 л воды, и 75 л ПОЖ I типа. Тогда:

$V_{\text{пж на единицу ВС}} = 225 \text{ л}$ . Отсюда

(1)  $S = V/H$ , где V – суммарный объём использованной жидкости, H – толщина плёнки, т. к.  $l = \text{дм}^3$ , то  $S_{\text{ед}} = 225 \text{ дм}^3 / 10^{-2} \text{ дм} = 225 \text{ м}^2$ ;

При использовании двухступенчатого процесса, воды тратится 300 л, ПОЖ I типа – 150 л и IV – 150 л.

$V_{\text{пж на единицу ВС}} = 600 \text{ л}$ .  $S_{\text{ед}} = 600 \text{ дм}^3 / 10^{-2} \text{ дм} = 600 \text{ м}^2$ ;

Таким образом, потенциально загрязняемая территория в минимальном случае в разы превышает площадь стоянок аэродрома, а если учесть интенсивность обработки при пиковых нагрузках в аэропортах, то суммарное загрязнение становится крупномасштабным.

Для уменьшения негативного воздействия на окружающую среду и, прежде всего, здоровье человека, необходим комплекс мероприятий. В рецептуру ПОЖ должны быть введены жидкие органические компоненты, которые могли бы:

1. Иметь большую растворимость и полностью абсорбировать (растворять в себе) неорганические солевые содержания антифризной и ингибиторной части ПОЖ;

2. Вследствие малой летучести являться не только невысыхающими, но и гигроскопичными;

3. По своей природе дополнительно обладать структурирующими или ингибирующими свойствами.

Приоритетной задачей становится создание на территории перрона специализированных участков для проведения обработки самолётов, где будет иметься своя система выведения отработанных жидкостей. Система должна быть замкнутой и иметь инсинераторы (деактиваторы загрязняющих веществ). Агрегаты облива необходимо модернизировать для точечного распыления растворов по поверхности фюзеляжа.

Для организации всего вышеперечисленного требуется значительный административный ресурс в виде регламентации деятельности в области экологии и контроле со стороны соответствующих органов. В целом, проблема, поставленная в работе, имеет высокотехнологичное комплексное решение, применение которого лишь вопрос времени.

### Литература

1. ГОСТ 4197-74. Натрий азотисто-кислый. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3).
2. P. W. Piper, Yeast superoxide dismutase mutants reveal a pro-oxidant action of weak organic acid food preservatives, *Free Radic. Biol. Med.* 27 (1999) pp. 1219—1227.
3. Каталог противообледенительных жидкостей ООО «ХиАтон» [Электронный ресурс] URL: <http://www.hiaton.ru/catalog/13342/> (дата обращения 12.12.2015).
4. Письмо Росавиации от 28.11.2012 N 4.03-370. "О введении в действие Рекомендаций по применению противообледенительных жидкостей для защиты самолетов от наземного обледенения в аэропортах России в сезоне 2012 - 2013 годов".
5. Общая информация Domodedovo Airfield Facilities [Электронный ресурс] URL: <http://www.dme.aero.ru/group/group1.asp> (дата обращения 12.02.2016).
6. ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
7. ГОСТ 31959-2012 (ISO 14669:1999) Вода. Методы определения токсичности по выживаемости морских ракообразных.
8. ГОСТ 32424-2013 Классификация опасности химической продукции по воздействию на окружающую среду.
9. ГОСТ Р 54264-2010. Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Методы и процедуры противообледенительной обработки самолётов.
10. Р 1.2.3156-13 Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека.
11. Патент РФ № 2221833, 20.01.2004.

### References

1. GOST 4197-74. Natrij azotisto-kislyj. Tehnicheskie uslovija (s Izmenenijami N 1, 2, 3).
2. P. W. Piper, Yeast superoxide dismutase mutants reveal a pro-oxidant action of weak organic acid food preservatives, *Free Radic. Biol. Med.* 27 (1999) pp. 1219—1227.
3. Katalog protivooledenitel'nyh zhidkostej ООО «HiAton» [Elektronnyj resurs] URL: <http://www.hiaton.ru/catalog/13342/> (data obrashhenija 12.12.2015).
4. Pis'mo Rosaviacii ot 28.11.2012 N 4.03-370. "O vvedenii v dejstvie Rekomendacij po primeneniju protivooledenitel'nyh zhidkostej dlja zashhity samoletov ot nazemnogo obledeneniya v ajeroportah Rossii v sezone 2012 - 2013 godov".
5. Obshhaja informacija Domodedovo Airfield Facilities [Elektronnyj resurs] URL: <http://www.dme.aero.ru/group/group1.asp> (data obrashhenija 12.02.2016).
6. GOST 12.1.007-76 «Vrednye veshhestva. Klassifikacija i obshhie trebovanija bezopasnosti».
7. GOST 31959-2012 (ISO 14669:1999) Voda. Metody opredelenija toksichnosti po vyzhivaemosti morskikh rakoobraznyh.
8. GOST 32424-2013 Klassifikacija opasnosti himicheskoy produkcii po vozdejstvu na okruzhajushhuyu sredu.
9. GOST R 54264-2010. Vozdushnyj transport. Sistema tehničeskogo obsluzhivaniya i remonta aviacionnoj tehniki. Metody i procedury protivooledenitel'noj obrabotki samoljotov.
10. R 1.2.3156-13 Ocenka toksichnosti i opasnosti himicheskix veshhestv i ih smesej dlja zdorov'ja cheloveka.
11. Patent RF № 2221833, 20.01.2004.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.097

Счастный К.С.<sup>1</sup>, Мазакон Е.Б.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-3311-5480, Аспирант,<sup>2</sup>кандидат технических наук,

Санкт-Петербургский горный университет

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ КОНТРОЛЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ ПРИ ЕЕ ДОБЫЧЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ****Аннотация**

Темой данной работы является анализ современных способов изучения реологических свойств высоковязкой нефти с помощью современных приборов и оборудования. Рассмотрены ротационные вискозиметры (реометры) различных фирм-изготовителей, плотнометры. Приведены сведения о приборах комплексного контроля реологических свойств нефти и нефтепродуктов и поточных вискозиметрах. В работе отмечается, что в современных условиях, когда все большее количество месторождений высоковязких нефтей и природных битумов вводится в разработку, необходимо обеспечение контроля реологических свойств продукции и их регулирования за счет изменения доли каждой из смешиваемых фаз.

**Ключевые слова:** высоковязкая нефть, реология, контроль данных, транспортировка.

Schastnyy K.S.<sup>1</sup>, Mazakov E.B.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-3311-5480, Postgraduate student,<sup>2</sup>PhD in Engineering,

Saint-Petersburg Mining University

**MODERN TECHNIQUES AND EQUIPMENT TO CONTROL RHEOLOGICAL PROPERTIES OF HIGH OIL  
IN ITS PRODUCTION AND TRANSPORTATION****Abstract**

The topic of this work is the analysis of modern methods of studying the rheological properties of high-viscosity oil using modern appliances and equipment. Rotational viscometer (rheometer) of different manufactures, densitometers are considered in this work. The information about devices of complex control of the rheological properties of oil and petroleum products and in-line viscometers is covered in this paper. It is noted in this paper that in the present conditions, when a growing number of fields heavy oil and natural bitumen is introduced into the development, it is necessary to ensure control of the rheological properties of products and their regulation by changing the proportion of each of the mixed phases.

**Keywords:** high-viscosity oil, rheology, data control, transportation.

На сегодняшний день человечество продолжает зависеть от добычи и переработки углеводородного сырья, несмотря на попытки заменить двигатели внутреннего сгорания на электрические. Однако, активные запасы легкой маловязкой нефти сокращаются и в старых нефтегазоносных провинциях остро стоит вопрос о поддержании добычи сырья на высоком уровне [1-6]. В связи с этим происходит постепенный ввод в эксплуатацию месторождений высоковязкой нефти и природного битума. При этом высокая вязкость добываемой продукции существенно осложняет как процесс добычи нефти, так и подготовку, и транспортировку продукции ввиду наличия сложных реологических свойств у такого рода флюидов.

Высоковязкие нефти требуют намного больших затрат энергии на транспортировку продукции, чем легкие маловязкие. Известно, например, что при повышении температуры пласта до 120°C вязкость нефти Ярегского месторождения снижается почти в 1000 раз. Установлено, что тиксотропные свойства нефти оказывают значительное влияние на ее движение по промысловым трубопроводам. За счет наличия в высоковязких нефтях высокомолекулярных компонентов, которые обладают склонностью образовывать тиксотропные структуры (асфальтены, смолы, парафины), увеличивается напряжение сдвига. В связи с этим тема энергосбережения и автоматизации является актуальной для данной отрасли народного хозяйства.

Изучение реологических свойств высоковязких нефтей и природных битумов имеет довольно обширную историю. Фундаментальными работами в этой области занимались такие специалисты как Рогачев М.К., Девликамов В.В., Хабибуллин З.А., Кабиров М.М. и другие [7-9]. Используемые ими приборы и оборудование варьируются от аналоговых устройств до современных приборов с автоматизированным управлением. На текущий момент возможно говорить о следующих устройствах по изучению реологических свойств высоковязкой нефти и природного битума.

Стоит сказать, что изучение свойств транспортируемой продукции невозможно без измерения ее плотности современными высокоточными устройствами. Ввиду высокой вязкости продукции при 20 или 15°C ареометр будет достаточно долго погружаться в исследуемую жидкость, при этом сотрудник компании будет терять большое количество рабочего времени на ожидание. В ряде случаев нефть может находиться в квазитвердом состоянии (при высоком содержании парафина). Для такого рода нефтей могут применяться хорошо зарекомендовавшие себя плотнометры компании Mettler Toledo и Anton Paar [10, 11]. Новейшие решения в промышленном варианте представлены компанией Rheonics [12]. Внешний вид датчика плотности представлен на рисунке (Рис. 1).



Рис. 1 – Датчик DVP компании Rheonics [12]

Диапазон измерения плотномеров и датчиков по измерению плотности при транспортировке высоковязких нефтей и природных битумов должен варьироваться в пределах от 0 до  $1,4 \text{ г/см}^3$  с учетом наличия воды в продукции. Датчики такого типа, как представлено на рисунке 1, требуют специализированных схем учета и сбора данных, а также их хранения.

Следующим важным устройством контроля реологических свойств являются приборы измерения кинематической вязкости. Вязкость продукции на объектах хранения и транспортировки может проводиться как при заборе проб и их анализе, так и в автоматизированном режиме. На рисунке (Рис. 2) представлены датчики компании Anton Paar.



Рис. 2 – Датчики измерения вязкости в режиме реального времени компании Anton Paar [11]

Данные устройства могут быть использованы как в режиме визуального наблюдения операторов установок для наблюдения за кинематической вязкостью, так и для измерений в автоматизированном режиме с записью данных на персональный компьютер или сервер.

У всех перечисленных выше устройств имеется существенный недостаток: невозможность исследования неньютоновских свойств продукции. Именно высокие напряжения сдвига и тиксотропные свойства существенно осложняют транспортировку продукции, а также ее хранение. Неньютоновские свойства нефти на сегодняшний день изучаются преимущественно на ротационных вискозиметрах [13-18]. Среди данных приборов стоит отметить ставшие классикой вискозиметры серии Rheotest [19]. На сегодняшний день именно они распространены на большинстве нефтегазовых предприятий.

Одним из наиболее распространенных тестов является определение начального напряжения сдвига нефти при ее течении. Эксперимент проводится следующим образом. В стакан вискозиметра (если это вискозиметры серии Rheotest или схожие с ними по конструкции приборы других фирм) помещается образец нефти определенного объема и термостатируется до необходимой температуры. Затем запускается режим контроля за напряжением сдвига на роторе и устанавливаются рамки, до какого значения происходит увеличение напряжения сдвига на роторе вискозиметра. Напряжение сдвига, после которого начинается вращение ротора, называют напряжением сдвига разрушения тиксотропной структуры. Чем выше данная величина при установленной температуре – тем больше необходимо

потратить энергии на обеспечение начала движения нефти в трубопроводе. Высоковязкие нефти содержат в себе большое количество асфальтенов, смол и парафинов, которые способны объединяться в фрактальные самоподобные трудноразрушаемые ассоциаты и структуры, которые как раз и обеспечивают аномальность их свойств, проявляющуюся при их транспортировке. Для обоснования рациональных режимов транспортировки высоковязкой нефти необходимо проводить масштабные реологические исследования таких нефтей как при положительных, так и при отрицательных температурах. Автором работы рекомендуется проводить не менее 7 измерений для построения качественной линии тренда.

Наиболее часто для изучения тиксотропных свойств высоковязких нефтей применяют способ, разработанный в Горном университете д.т.н., профессором М.К. Рогачевым. В вискозиметр помещают пробу нефти и термостатируют при необходимой температуре испытания. В ряде работ такие испытания проводились следующим образом: «Скорость сдвига в процессе исследования плавно увеличивается до значения  $300 \text{ с}^{-1}$  в течение 300 секунд (прямой ход на графиках зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига), затем она выдерживалась постоянной при достигнутом значении в течение 300 секунд (ожидание полного разрушения внутренней структуры нефти), а далее скорость сдвига плавно уменьшалась до нуля за 300 секунд (обратный ход на графиках). В результате таких лабораторных исследований на графиках зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига будут получены характерные петли гистерезиса. Тот факт, что линия прямого хода не повторяет линию обратного хода, свидетельствует о тиксотропной структуре исследуемой нефти. Площадь петли гистерезиса, заключенная в пределах единого цикла измерений, характеризует величину механической энергии, необходимой для разрушения тиксотропных связей, отнесенной к единице объема нефти. Поэтому чем больше площадь «петли гистерезиса», тем более склонна данная нефть к структурообразованию при данных температурных условиях» [8,13,21]. Таким образом, изучение тиксотропных свойств высоковязкой нефти при таком способе проведения испытаний при одной температуре занимает 15 минут без учета подготовки и транспортировки пробы до лаборатории. Если говорить о полноценном исследовании, то при изучении реологии 1 образца нефти необходимо привести 7 испытаний и потратить минимум 1 час 45 минут, а с добавлением времени, необходимого для термостатирования прибора – и целый рабочий день (8 часов). Именно поэтому рационально проводить подобные испытания по мере необходимости. Некоторые нефти требуют предварительного разогрева перед началом работ по изучению их реологии, например, нефть Петруховского месторождения Самарской области, которая содержит в себе большое количество парафинов и застывает уже при  $50^\circ\text{C}$ , что существенно осложняет ее транспорт и хранение [21].

Следует отметить, что все приведенные выше испытания решают задачи получения данных о реологии продукции и уже на основе этих данных возможно принимать решения об оптимальных температурных условиях транспорта и хранения такого рода флюидов, подборе ингибиторов отложения асфальтеносмолопарафиновых веществ. Такого рода проблемы с нефтями могут начинаться буквально с забоя скважины [22-24].

Таким образом, на основании вышесказанного, возможно сделать следующие выводы:

1. Решение задач, возникающих при изменении реологических свойств добываемых и транспортируемых нефтей, является актуальным вопросом в современных условиях транспортировки и хранения высоковязких нефтей. При этом хранение данных в цифровом виде позволит собирать и анализировать данные, полученные при проведении испытаний.
2. Для решения такого рода задач необходимо как изучение реологических свойств высоковязких нефтей, поступающих с промыслов в магистральные трубопроводы, так и легких нефтей, применяемых в качестве разбавителей. По мнению автора работы, возможно улучшение работы систем, контролирующих расход каждого флюида для обеспечения оптимальных параметров смеси при помощи методов обработки данных и принятия решений.
3. Автор работы считает необходимым тестирование различных систем учета реологических свойств нефтей как отечественных, так и зарубежных фирм для создания новых оптимально подобранных систем контроля свойств нефтей.

### Литература

1. Рощин П.В. Обоснование комплексной технологии обработки призабойной зоны пласта на залежах высоковязких нефтей с трещинно-поровыми коллекторами. автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.17 / минерально-сырьевой ун-т "Горный". Санкт-Петербург, 2014.
2. Литвин В.Т. Обоснование технологии интенсификации притока нефти для коллекторов баженовской свиты с применением кислотной обработки. автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.17 / минерально-сырьевой ун-т "Горный". Санкт-Петербург, 2016
3. Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Высоковязкие нефти: анализ пространственных и временных изменений физико-химических свойств // Нефтегазовое дело. – 2005. – №. 1. – С. 21-30.
4. Якуцени В.П., Петрова Ю.Э., Суханов А.А. Динамика доли относительного содержания трудноизвлекаемых запасов нефти в общем балансе // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2007. – Т. 2. – С. 329.
5. Яценко И. Г. Анализ пространственных, временных и геотермических изменений высоковязких нефтей России // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – №. 1.
6. Каширцев В.А. Природные битумы северо-востока Сибирской платформы. – Якутский филиал СО АН СССР, 1988.
7. Девликамов В.В., Хабибуллин З.А., Кабиров М.М. Аномальные нефти. -М.: Недра, 1975. -168 с.
8. Рогачев М.К., Колонских А.В. Исследование вязкоупругих и тиксотропных свойств нефти Усинского месторождения // Нефтегазовое дело. -2009. -Т.7. -№1. -С. 37-42.
9. Аметов И.М., Байдилов Ю.Н., Рузин Л.М. Добыча тяжелых и высоковязких нефтей. -М.: Недра, 1985. -205 с.
10. <http://ru.mt.com/ru/ru/home.html>
11. <http://www.paar.ru/>

12. <http://www.rheonics.com/>
13. Рошин П.В., Петухов А.В., Васкес Карденас Л.К., Назаров А.Д., Хромых Л.Н. Исследование реологических свойств высоковязких и высокопарафинистых нефтей месторождений Самарской области. Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т. 8. № 1. С. 12.
14. Рошин П.В. Обоснование комплексной технологии обработки призабойной зоны пласта на залежах высоковязких нефтей с трещинно-поровыми коллекторами: дис. канд. техн. наук. -СПб., 2014. -112 с.
15. Roschin P.V., Zinoviev A.M., Struchkov I.A., Kalinin E.S., Dziwornu C.K. Solvent selection based on the study of the rheological properties of oil. Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 6-1 (37). С. 120-122.
16. Зиновьев А.М., Ольховская В.А., Коновалов В.В., Мардашов Д.В., Тананыхин Д.С., Рошин П.В. Исследование реологических свойств и особенностей фильтрации высоковязких нефтей месторождений Самарской области. Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2013. № 2 (38). С. 197-205.
17. Гумеров К.О., Рогачев М.К. Исследование реологических свойств нефти и водонефтяных эмульсий Илышевского месторождения. Современные технологии в нефтегазовом деле. 2014. С. 82-86.
18. Зиновьев А.М. Обоснование режима эксплуатации залежей высоковязкой нефти с использованием модели неньютоновского течения и результатов промыслово-гидродинамических исследований. диссертация ... кандидата технических наук: 25.00.17 / минерально-сырьевой ун-т "Горный". Самара, 2013.
19. Петухов А.В., Долгий И.Е., Колонских А.В., Рошин П.В. Изучение реологических свойств тяжелых высоковязких нефтей Тимано-Печерской и Волго-Уральской нефтегазоносных провинций. Конференция ВНИГРИ «Проблемы недропользования и воспроизводства запасов углеводородного сырья». С. 241-246. ВНИГРИ.
20. <http://i-ngp.ru/archive/9562>
21. Литвин В.Т., Рошин П.В. Изучение влияния растворителя «Нефрас С2-80/120» на реологические свойства парафинистой высоковязкой нефти Петруховского месторождения//Материалы научной сессии ученых Альметьевского государственного нефтяного института. -2013. -Т.1. -№ 1. -С. 127-130.
22. Стручков И.А., Хамитов И.Г., Рошин П.В., Манасян А.Э. Физико-химические методы борьбы с осложнениями при эксплуатации месторождения парафинистой нефти. Нефтепромысловое дело. 2016. № 4. С. 48-52.
23. И.А. Стручков, Л.К. Васкес Карденас, П.В. Рошин, Л.Н. Хромых. Методы борьбы с отложениями АСПВ на месторождениях высоковязкой нефти Самарской области. Ашировские чтения: Сб. трудов Международной научно-практической конференции. Том II / Отв. редактор В.В. Живаева. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – С. 267-270.
24. И.А. Стручков, М.К. Рогачев, П.В. Рошин, Е.С. Калинин, Л.Н. Хромых. Необходимые аспекты, принимаемые во внимание при выборе режима эксплуатации скважины, добывающей парафинистую нефть. Ашировские чтения: Сб. трудов Международной научно-практической конференции. Том II / Отв. редактор В.В. Живаева. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2015. – С. 282-287.

#### References

1. Roshhin P.V. Obosnovanie kompleksnoj tehnologii obrabotki prizabojnoj zony plasta na zalezah vysokovjazkih neftej s treshhinno-porovymi kollektorami. avtoreferat dis. ... kandidata tehniceskix nauk: 25.00.17 / mineral'no-syr'evoj un-t "Gornyj". Sankt-Peterburg, 2014.
2. Litvin V.T. Obosnovanie tehnologii intensifikacii pritoka neftei dlja kollektorov bazhenovskoj svity s primeneniem kislotnoj obrabotki. avtoreferat dis. ... kandidata tehniceskix nauk: 25.00.17 / mineral'no-syr'evoj un-t "Gornyj". Sankt-Peterburg, 2016
3. Polishhuk Ju.M., Jashhenko I.G. Vysokovjazkie nefti: analiz prostranstvennyh i vremennyh izmenenij fiziko-himicheskix svojstv //Neftegazovoe delo. – 2005. – №. 1. – S. 21-30.
4. Jakuceni V.P., Petrova Ju.Je., Suhanov A.A. Dinamika doli odnositel'nogo sodержanija trudnoizvlekaemyh zapasov neftei v obshhem balanse //Neftegazovaja geologija. Teorija i praktika. – 2007. – Т. 2. – S. 329.
5. Jashhenko I. G. Analiz prostranstvennyh, vremennyh i geotermicheskix izmenenij vysokovjazkih neftej Rossii //Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. – 2006. – Т. 309. – №. 1.
6. Kashircev V.A. Prirodnye bitумы severo-vostoka Sibirskoj platformy. – Jakutskij filial SO AN SSSR, 1988.
7. Devlikamov V.V., Habibullin Z.A., Kabirov M.M. Anomal'nye nefti. -M.: Nedra, 1975. -168 s.
8. Rogachev M.K., Kolonskih A.V. Issledovanie vjzakuprugih i tiksotropnyh svojstv neftei Usinskogo mestorozhdenija//Neftegazovoe delo. -2009. -Т.7. -№1. -S. 37-42.
9. Ametov I.M., Bajdikov Ju.N., Ruzin L.M. Dobycha tjazhelyh i vysokovjazkih neftej. -M.: Nedra, 1985. -205 s.
10. <http://ru.mt.com/ru/ru/home.html>
11. <http://www.paar.ru/>
12. <http://www.rheonics.com/>
13. Roshhin P.V., Petuhov A.V., Vaskes Kardenas L.K., Nazarov A.D., Hromyh L.N. Issledovanie reologicheskix svojstv vysokovjazkih i vysokoparafiniistyx neftej mestorozhdenij Samarskoj oblasti. Neftegazovaja geologija. Teorija i praktika. 2013. Т. 8. № 1. С. 12.
14. Roshhin P.V. Obosnovanie kompleksnoj tehnologii obrabotki prizabojnoj zony plasta na zalezah vysokovjazkih neftej s treshhinno-porovymi kollektorami: dis. kand. tehn. nauk. -SPb., 2014. -112 s.
15. Roschin P.V., Zinoviev A.M., Struchkov I.A., Kalinin E.S., Dziwornu C.K. Solvent selection based on the study of the rheological properties of oil. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2015. № 6-1 (37). S. 120-122.
16. Zinov'ev A.M., Ol'hovskaja V.A., Konovalov V.V., Mardashov D.V., Tananyhin D.S., Roshhin P.V. Issledovanie reologicheskix svojstv i osobennostej fil'tracii vysokovjazkih neftej mestorozhdenij Samarskoj oblasti. Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. Serija: Tehniceskie nauki. 2013. № 2 (38). S. 197-205.
17. Gumerov K.O., Rogachev M.K. Issledovanie reologicheskix svojstv neftei i vodoneftjanyh jemul'sij Ilyshevskogo mestorozhdenija. Sovremennye tehnologii v neftegazovom dele. 2014. S. 82-86.

18. Zinov'ev A.M. Obosnovanie rezhima jekspluatacii zalezhej vysokovjazkoj nefti s ispol'zovaniem modeli nen'jutonovskogo techenija i rezul'tatov promyslovo-gidrodinamicheskikh issledovanij. dissertacija ... kandidata tehniceskikh nauk: 25.00.17 / mineral'no-syr'evoj un-t "Gornyj". Samara, 2013.

19. Petuhov A.V., Dolgij I.E., Kolonskih A.V., Roshhin P.V. Izuchenie reologicheskikh svojstv tjazhelyh vysokovjazkikh neftej Timano-Pecherskoj i Volgo-Ural'skoj neftegazonosnyh provincij. Konferencija VNIGRI «Problemy nedropol'zovanija i vosproizvodstva zapasov uglevodorodnogo syr'ja». S. 241-246. VNIGRI.

20. <http://i-ngp.ru/archive/9562>

21. Litvin V.T., Roshhin P.V. Izuchenie vlijanija rastvoritelja «Nefras S2-80/120» na reologicheskie svojstva parafinistoj vysokovjazkoj nefti Petruhnovskogo mestorozhdenija//Materialy nauchnoj sessii uchenyh Al'met'evskogo gosudarstvennogo neftjanogo instituta. -2013. -T.1. -№ 1. -S. 127-130.

22. Struchkov I.A., Hamitov I.G., Roshhin P.V., Manasjan A.Je. Fiziko-himicheskie metody bor'by s oslozhenijami pri jekspluatacii mestorozhdenija parafinistoj nefti. Neftepromyslovoe delo. 2016. № 4. S. 48-52.

23. I.A. Struchkov, L.K. Vaskes Kardenas, P.V. Roshhin, L.N. Hromyh. Metody bor'by s otlozhenijami ASPV na mestorozhdenijah vysokovjazkoj nefti Samarskoj oblasti. Ashirovskie chtenija: Sb. trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Tom II / Otv. redaktor V.V. Zhivaeva. – Samara: Samar. gos. tehn. un-t, 2013. – S. 267-270.

24. I.A. Struchkov, M.K. Rogachev, P.V. Roshhin, E.S. Kalinin, L.N. Hromyh. Neobhodimye aspekty, prinimaemye vo vnimanie pri vybore rezhima jekspluatacii skvazhiny, dobyvajushhej parafinistuju neft'. Ashirovskie chtenija: Sb. trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Tom II / Otv. redaktor V.V. Zhivaeva. – Samara: Samar. gos. tehn. un-t, 2015. – S. 282-287.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.171

Тхань Фонг Ку

Аспирант,

Московский авиационный институт

#### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА УГАРНОГО ГАЗА

##### Аннотация

*В статье представлены конструктивно-технологические принципы создания беспроводной сенсорной сети для непрерывного мониторинга концентрации токсичных газов в воздухе промышленных предприятий и жилых зонах, в частности, угарного газа. Кроме того, беспроводная сенсорная сеть обеспечивает передачу получаемых данных по радиоканалу, включая выход на телефонные сети стандарта GSM и Ethernet, и управление беспроводными исполнительными устройствами. В процессе работы были разработаны автономные беспроводные газовые датчики для мониторинга концентрации CO в воздухе и описан прототип беспроводной сенсорной сети для мониторинга токсичных газов с использованием стандарта передачи данных Zigbee.*

**Ключевые слова:** автономный беспроводной датчик, угарный газ, концентрация CO, беспроводной координатор, беспроводная сенсорная сеть.

Cu Thanh Phong

Postgraduate student,

Moscow Aviation Institute

#### DEVELOPMENT AND RESEARCH OF WIRELESS SENSOR NETWORK FOR GAS MONITORING

##### Abstract

*This paper presents the design and technological principles of a wireless sensor network (WSN) for continuous monitoring of the concentration of toxic gases, particularly carbon monoxide in the atmosphere of industrial sites and residential areas. Additionally, the wireless sensor network transmits the received data through radio channel, having access to GSM and Ethernet telephone networks, and controls the wireless actuators. Autonomous wireless gas sensors for CO monitoring were developed during our work on this paper and the prototype of the wireless sensor network for toxic gas monitoring using Zigbee as its data transmission standard is detailed.*

**Keywords:** autonomous wireless gas sensor node, carbon monoxide, concentration CO, wireless coordinator, wireless sensor networks.

## ВВЕДЕНИЕ

Беспроводная сенсорная сеть (БСС) – это беспроводная система, представляющая собой распределенную, самоорганизующуюся и устойчивую к отказам отдельных элементов сеть миниатюрных вычислительных устройств с автономным источником питания [1, 2]. В качестве объекта мониторинга наиболее часто выступают следующие параметры: температура [3], влажность [4], освещенность [5] и газовый состав [6].

Основной задачей в технологии беспроводных сенсорных сетей является разработка БСС с энергонезависимыми сенсорными модулями, которые имели бы исключительно автономное питание. Более подробный анализ проблемы энергонезависимого питания представлен в работе [7].

С точки зрения потребляемой мощности, наиболее сложным случаем являются БСС для газового мониторинга. При этом при организации газового мониторинга токсичных газов могут использоваться каталитические [8], оптические [9], полупроводниковые [10] и электрохимические сенсоры [11]. Из всего многообразия газовых сенсоров, электрохимические сенсоры выделяются тем, что практически не потребляют электрическую энергию. Это открывает возможность их широкого применения в беспроводных сенсорных сетях для экологического мониторинга состава



воздуха [12]. При этом беспроводные сенсорные сети могут быть развернуты в местах, где нет доступа к электрическим сетям и поэтому необходимо обеспечить продолжительную работу беспроводных газовых датчиков за счет автономного питания.

В данной статье представлена беспроводная сенсорная сеть, предназначенная для автоматического контроля концентрации СО в атмосфере производственных помещений, внутри и на территории промышленных объектов, охраняемых территорий, а также для выдачи как индивидуальной сигнализации, так и отправку уведомления ответственному лицу [13, 14, 15].

#### 1 Описание беспроводной сенсорной сети

Схема беспроводной сенсорной сети, развернутой для контроля концентрации СО в производственном помещении, представлена на рисунке 1.

Беспроводная сенсорная сеть включает на себе:

- беспроводные сенсорные узлы (БСУ) с автономным питанием (Д) [12];
- беспроводные маршрутизаторы (М);
- беспроводной координатор сети (К);
- беспроводные исполнительные устройства (И).
- тревоги устройства 1, 2 и 3 (в том числе, 1 является аварийно-спасательная служба; 2- ответственные лица; 3- собственники помещений)

Беспроводные маршрутизаторы сети играют роль ретрансляторов сигналов от беспроводных сенсорных узлов с автономным питанием к беспроводному координатору сети (и обратно). Поэтому беспроводные маршрутизаторы сети все время находятся в режиме ожидания приема радиосигнала. Это позволяет принимать данные от связанных с ним беспроводных газовых датчиков в любое время и, тем самым, позволяет находиться самим беспроводным сенсорным узлам в спящем режиме, в котором приемопередатчик практически не потребляет энергию. Обмен данными между беспроводными маршрутизаторами и беспроводными сенсорными узлами происходит в момент тревоги или во время служебного режима обмена данными [16].

Для передачи данных все устройства беспроводной сенсорной сети оснащены приемопередатчиками (Zigbee модемами), работающими на частоте 2.4 ГГц [17].

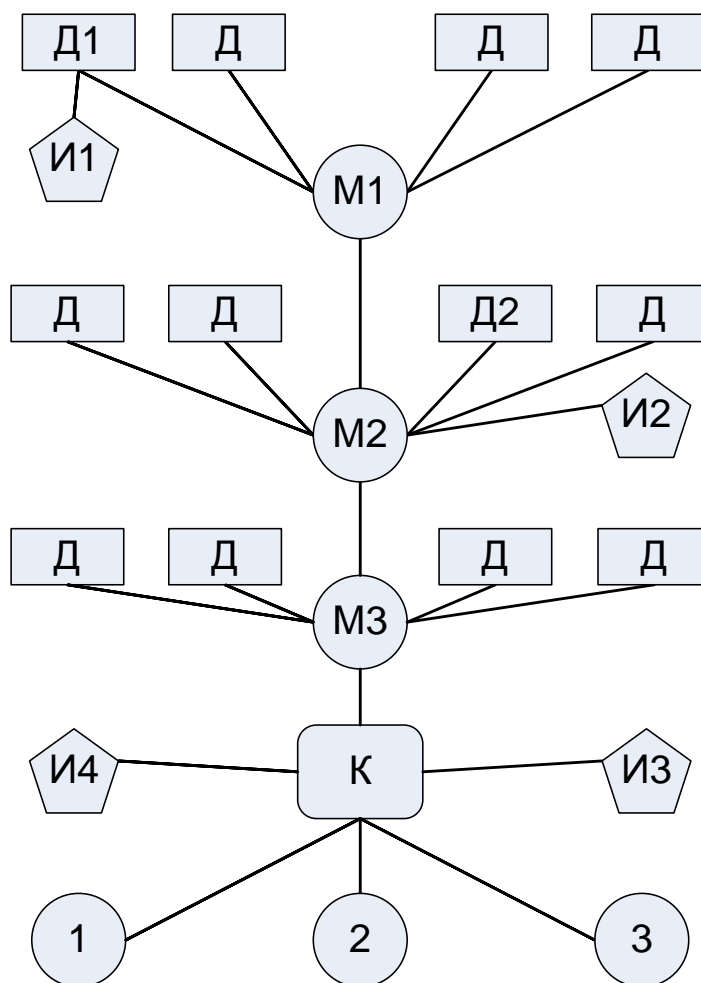


Рис. 1 – Блок-схема беспроводной сенсорной сети, где Д является узлом датчика, К является координатором сети, И представляет собой беспроводное исполнительное устройство, М является беспроводным маршрутизатором радиосигналов, 1, 2 и 3 являются тревогами устройств

#### 2 Алгоритм работы беспроводной сенсорной сети

Беспроводные сенсорные узлы функционируют в 2-х пороговом режиме измерений. Первый порог срабатывания (предупреждение) находится в значении концентрации СО  $5 \text{ мг/м}^3$ , второй порог (тревога) –  $20 \text{ мг/м}^3$ . Калибровка

датчика выполняется в диапазоне от 5- 20 мг/м<sup>3</sup> концентрации СО в зависимости от условий эксплуатации, но не реже одного раза в год [12]. На рисунке 2 представлена зависимость тока сенсорного выхода от концентрации СО.

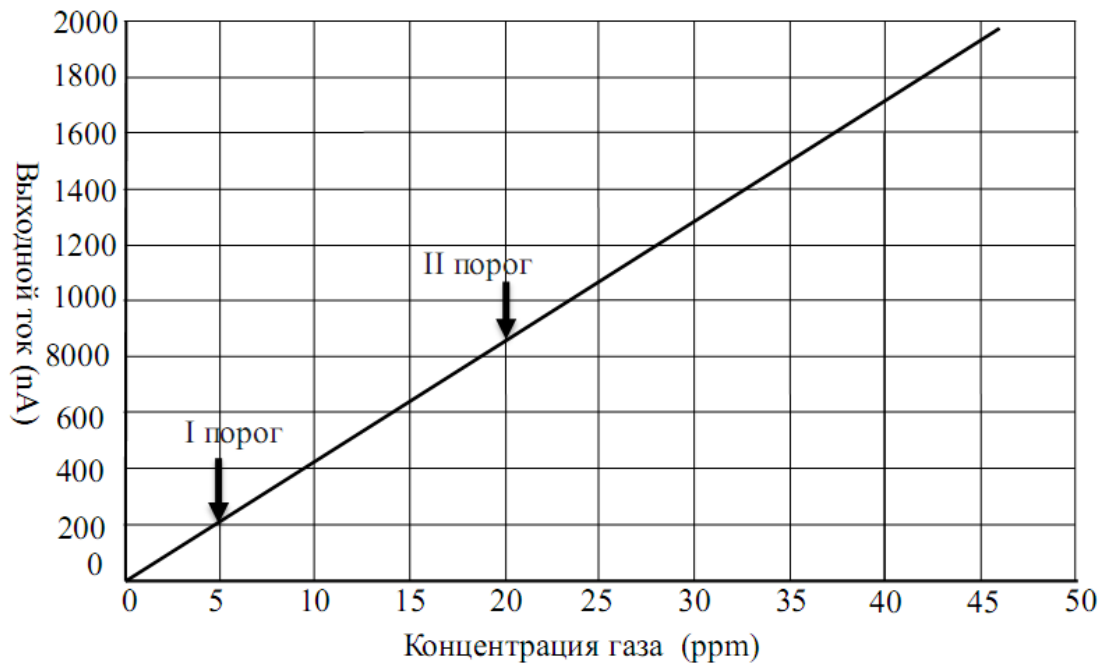


Рис. 2 – Зависимость тока от концентрации СО.

### 2.1 Работа беспроводной сенсорной сети в штатной ситуации осуществляется по следующему алгоритму

Беспроводные сенсорные узлы проводят измерения концентрации СО (Д на рис. 1). С целью энергосбережения измерения концентрации газов проводятся в периодическом режиме: режим измерения- спящий режим - режим измерения. Продолжительность режима измерения составляет порядка 1 с. Продолжительность спящего режима в интервале от 10 до 60 с. При этом в режиме измерения функционируют все элементы датчика за исключением ZigBee модема, который находится в спящем режиме. Если концентрация СО меньше 5 мг/м<sup>3</sup> микроконтроллер переводит датчик в режим энергосбережения (спящий режим), передача данных на координатор сети (К на рис. 1) не осуществляется.

### 2.2 Работа беспроводной сенсорной сети в нештатной ситуации осуществляется по следующему алгоритму

Если измеренное беспроводным датчиком значение концентрации СО находится в диапазоне 5 мг/м<sup>3</sup> – 20 мг/м<sup>3</sup>, то микроконтроллер БСУ переводит ZigBee-модем в режим передачи, формирует и отправляется пакет данных на маршрутизатор (М, на рис. 1), который, в свою очередь, направляет данные дальше на координатор сети. Кроме того, включается соответствующая световая и звуковая сигнализация самого БСУ. После получения подтверждения об успешной доставке модем БСУ переходит в спящий режим.

Если измеренное беспроводным датчиком, например Д1, значение концентрации СО выше 20 мг/м<sup>3</sup>, то микроконтроллер БСУ переводит ZigBee-модем в режим передачи и по беспроводной сети отправляет команду исполнительному устройству, связанному с ним (И1) и, получив подтверждение об исполнении, формирует и отправляет пакет данных на маршрутизатор (М1, на рис. 1), который, в свою очередь, направляет данные дальше, на координатор сети. Передаваемые данные в обязательном порядке включают информацию, позволяющую идентифицировать датчик, с которого они отправлены. Кроме того, включается соответствующая световая и звуковая сигнализация самого беспроводного газового датчика. Аналогичным образом и маршрутизатор после получения данных от беспроводного датчика, например Д1, отдает команду исполнительному устройству, связанному с ним (И1), и получив, подтверждение об исполнении, отправляет пакет данных на координатор сети.

Координатор сети, после получения данных о превышении концентрации газа в одном или нескольких помещениях и данные об уже выполненных действиях от исполнительных устройств, отдает команду связанным с ним исполнительным устройствам (И3) и (И4) [если таковые имеются] и, получив подтверждение об исполнении команд, формирует и посылает пакет данных в соответствующую аварийно-спасательную службу (1 на рис. 1) (в частности, для вывода информации на пульт автоматизированного рабочего места), ответственным лицам (2, рис. 1), а также собственникам помещений (3, рис.1). Кроме того, полученные данные сохраняются во встроенной или внешней памяти.

### 3 Время отклика на измерение газового состава

Одним из наиболее важных параметров для системы, которая контролирует концентрации СО является временем, необходимое для своей реакции при резком изменении концентрации СО в окружающей среде.

Для некоторых устройств, на этот раз предписано имеющимися стандартами для показателей газа. В случае распределенной беспроводной системы, то этот параметр, очевидно, следует оценивать для системы в целом. Для газовых тревог системы, которые сочетают в себе световую и звуковую сигнализацию с возможностью активировать отключающим устройством (в нашем случае это беспроводной привод) задержка срабатывания сигнала тревоги до 120 секунд допускается [18].

Время отклика системы, обозначаемой  $t_0$ , зависит от времени измерения ( $t_H$ ) и время, необходимое для передачи данных по беспроводному каналу ( $t_{\Pi}$ )

$$t_0 = t_H + t_{\Pi}$$

В то же время, мы можем изменить время отклика узла датчика путем изменения интервала измерений с целью минимизированного энергопотребления.

Время передачи данных по беспроводной сети зависит как от времени для услуги сети ( $t_y$ ), время для общения через один беспроводный маршрутизатор ( $t_M$ ), а общее число беспроводных маршрутизаторов, необходимых для передачи данных к координатору. Следует отметить, что  $t_y$  также включает в себя время для сохранения данных в памяти, прежде чем он будет передаваться на следующий беспроводный маршрутизатор. Для того чтобы получить максимально объективные данные, и оценить наихудший сценарий, время отклика узла датчика следует измерять на максимально возможное количество беспроводных маршрутизаторов, которые, для модуля TG-ETRX3, равна 30 [19]:

$$t_{\Pi} = t_y + 30 t_M$$

В результате время передачи данных (вместе с подтверждать прием) по беспроводной сети составляет около 347 мс (определено эмпирически). Как будет показано ниже, время передачи данных значительно ниже, чем во время измерения и интервал между измерениями, так что если передача влияние потери пакетов, что требует повторной передачи, общее время не будет в значительной степени зависеть. Поскольку компонент передачи данных  $t_{\Pi}$  мала по сравнению с требованиями к общему времени отклика, на практике время отклика  $t_0$  доминирует времени измерения  $t_H$ , которые мы можем регулировать цикл измерения путем размена времени отклика и потреблении энергии.

Беспроводная сенсорная сеть СО использует технологию передачи данных ZigBee. Для оценки беспроводных линий связи используем показатель уровня принимаемого сигнала (RSSI) и индикатор качества сигнала (LQI). Показатель уровня принимаемого сигнала, RSSI (англ. *received signal strength indicator*) - полная мощность принимаемого приёмником сигнала. Измеряется приёмником по логарифмической шкале в дБм. Индикатор качества сигнала LQI является метрикой текущего качества принимаемого сигнала. LQI показывает способность сигнала, который должен быть демодулированным в масштабе 0-255. Далее, мы оценили производительность доставки пакетов от датчика узла для координатора сети. Узел послал около 10,000 пакетов данных с 20 с временным интервалом между представлений. Рис. 3 а и б сюжет скорость доставки пакетов (PDR) значения по отношению к RSSI и LQI. Хорошая связь ( $PDR > 80\%$ ) может быть достигнуто, когда RSSI выше -79,3 дБм, а LQI превышает 180,4. Стоит отметить, что, когда LQI составляет около 210, PDR достигает почти 100% скорости.

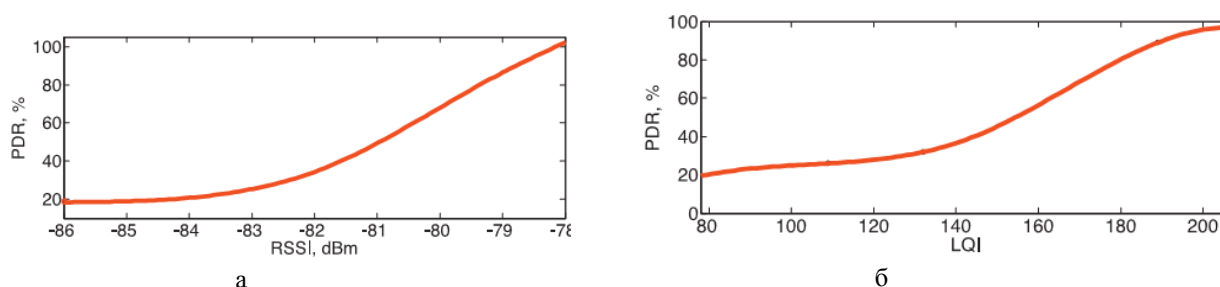


Рис. 3 – Соотношение между (а) RSSI и средней PDR; (Б) LQI и средней PDR

## ВЫВОДЫ

В статье была разработана беспроводная сенсорная сеть для мониторинга концентрации СО и ее технические характеристики. Заметили, что для автоматического контроля концентрации СО в БСС используется беспроводными газовыми датчиками, который имеет исключительно автономное (батарейное) питание и может работать в составе беспроводных сенсорных сетей без замены источника питания в течение всего срока службы сенсора -7 лет.

Для передачи данных в беспроводных сенсорных сетях разработан стандарт IEEE 802.15.4 и протокол высокого сетевого уровня ZigBee. Его программно-аппаратный интерфейс, в отличие от обычных радиоканалов, позволяет создавать сенсорные сети из практически неограниченного числа устройств. Экспериментальные результаты показывают, что безопасная передача данных может быть реализовано до 100 м в прямой линии сайта уличных условиях.

В дальнейшем планируется рассмотреть возможность использования энергии возобновляемых источников для питания функциональных устройств БСС [20].

## Литература

1. Сергей Баскаков, Владимир Оганов. Беспроводные сенсорные сети на базе платформы MeshLogic™. Электронные компоненты, №8: 65-69, 2006.
2. Л. С. Восков. Беспроводные сенсорные сети и прикладные проекты. Автоматизация и ИТ в энергетике, №2-3: 44-48, 2009.
3. А. Г. Финогеев, В. Б. Дильман, В. А. Маслов, А. А. Финогеев. Оперативный дистанционный мониторинг в системе городского теплоснабжения на основе беспроводных сенсорных сетей. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, №3: 27-36, 2010.
4. Горлов М. И. Микроэлектронный датчик влажности поверхностно-конденсационного типа. Патент РФ 2224246. Оpubл. 20.02.2004. Бюл. №5.
5. Е. В. Барбасова, Т. А. Vstavskaya. Построение систем управления сложными комплексами наружного освещения. Вестник ЮУрГУ, №23: 98-101, 2011.

6. A. Somov, A. Baranov, A. Savkin, D. Spirjakin, A. Spirjakin, and R. Passerone. Development of wireless sensor network for combustible gas monitoring. *Sensors and Actuators, A: Physical* 171(2): 398-405, 2011.
7. Alexander Baranov, Denis Spirjakin, Saba Akbari, Andrey Somov. Optimization of power consumption for gas sensor nodes: A survey. *Sensors and Actuators, A: Physical* 233:279-289, 2015.
8. Andrey Somov, Alexander Baranov, Alexey Suchkov, Alexey Karelin, Sergey Mironov, Elena Karpova. Improving interoperability of catalytic sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical* 221: 1156–1161, 2015.
9. A. Makeenkov, I. Lapitskiy, A. Somov, A. Baranov, Flammable gases and vapors of flammable liquids: Monitoring with infrared sensor node, *Sensors and Actuators B: Chemical*. 209: 1102–1107, 2015.
10. N.N. Samotaev, A.A. Vasiliev, B.I. Podlepetsky, A.V. Sokolov, A.V. Pislakov. The mechanism of the formation of selective response of semiconductor gas sensor in mixture of CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/CO with air. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 127: 242–247, 2007.
11. Т. Ф. Ку. Автономное беспроводное устройство для мониторинга концентрации СО. *Датчики и Системы* № 6: 42-46, 2015.
12. J. Hayes, S. Beirne, K.-T. Lau, D. Diamond, Evaluation of a low cost wireless chemical sensor network for environmental monitoring, in: *Proceeding of the IEEE Sensors 2008*, October 26-29, Lecce, Italy, 2008, pp. 530–533.
13. A. Somov, A. Baranov, D. Spirjakin, R. Passerone. Circuit design and power consumption analysis of wireless gas sensor nodes: one-sensor versus two-sensor approach. *IEEE Sensors Journal* 14(6): 2056-2063, 2014.
14. A. Somov, A. Baranov, D. Spirjakin. A wireless sensor–actuator system for hazardous gases detection and control. *Sensors and Actuators A: Physical* 210: 157-164, 2014.
15. Y.W. Kim, S.J. Lee, G.H. Kim, G.J. Jeon, “Wireless electronic nose network for realtime gas monitoring system,” in *Proc. ROSE*, 2009, pp. 169–172.
16. Andrey Somov, Alexander Baranov, Denis Spirjakin, Andrey Spirjakin, Vladimir Sleptsov, Roberto Passerone. Deployment and evaluation of a wireless sensor network for methane leak detection. *Sensors and Actuators A: Physical* 202: 152-225, 2013.
17. Т. Ф. Ку. Разработка газовых сенсоров с низким энергопотреблением для беспроводных энергонезависимых сенсорных сетей ("умная пыль"). *Международный научно-исследовательский журнал* №11(42): 116-122, 2015.
18. Standard EN 50194:2000: Electrical Apparatus for the Detection of Combustible Gases in Domestic Premises. Test methods and performance requirements (2000).
19. ETRX3 Product Manual [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. // Режим доступа: <http://www.telegesis.com/downloads/general/TGETRX3-PM-001-109.pdf> (дата обращения 01.05.2016).
20. Alexander Baranov, Andrey Somov, Denis Spirjakin, Saba Akbari, Roberto Passerone. POCO: 'Perpetual' operation of CO wireless sensor node with hybrid power supply. *Sensors and Actuators A: Physical* 238:112-121, 2016.

#### References

1. Sergej Baskakov, Vladimir Oganov. *Besprovodnye sensornye seti na baze platformy MeshLogicTM. Jelektronnye komponenty*, №8: 65-69, 2006.
2. L. S. Voskov. *Besprovodnye sensornye seti i prikladnye proekty. Avtomatizacija i IT v jenergetike*, №2-3: 44-48, 2009.
3. A. G. Finogeev, V. B. Dil'man, V. A. Maslov, A. A. Finogeev. Operativnyj distancionnyj monitoring v sisteme gorodskogo teplosnabzhenija na osnove besprovodnyh sensornyh setej. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tehnicheskie nauki*, №3: 27-36, 2010.
4. Gorlov M. I. Mikrojelektronnyj datchik vlazhnosti poverhnostno-kondensacionnogo tipa. Patent RF 2224246. Opubl. 20.02.2004. *Bjul.* №5.
5. E. V. Barbasova, T. A. Vstavskaya. Postroenie sistem upravlenija slozhnymi kompleksami naruzhnogo osveshhenija. *Vesnik JuUrGU*, №23: 98-101, 2011.
6. A. Somov, A. Baranov, A. Savkin, D. Spirjakin, A. Spirjakin, and R. Passerone. Development of wireless sensor network for combustible gas monitoring. *Sensors and Actuators, A: Physical* 171(2): 398-405, 2011.
7. Alexander Baranov, Denis Spirjakin, Saba Akbari, Andrey Somov. Optimization of power consumption for gas sensor nodes: A survey. *Sensors and Actuators, A: Physical* 233:279-289, 2015.
8. Andrey Somov, Alexander Baranov, Alexey Suchkov, Alexey Karelin, Sergey Mironov, Elena Karpova. Improving interoperability of catalytic sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical* 221: 1156–1161, 2015.
9. A. Makeenkov, I. Lapitskiy, A. Somov, A. Baranov, Flammable gases and vapors of flammable liquids: Monitoring with infrared sensor node, *Sensors and Actuators B: Chemical*. 209: 1102–1107, 2015.
10. N.N. Samotaev, A.A. Vasiliev, B.I. Podlepetsky, A.V. Sokolov, A.V. Pislakov. The mechanism of the formation of selective response of semiconductor gas sensor in mixture of CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/CO with air. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 127: 242–247, 2007.
11. Т. Ф. Ку. Автономное беспроводное устройство для мониторинга концентрации СО. *Датчики и Системы* № 6: 42-46, 2015.
12. J. Hayes, S. Beirne, K.-T. Lau, D. Diamond, Evaluation of a low cost wireless chemical sensor network for environmental monitoring, in: *Proceeding of the IEEE Sensors 2008*, October 26-29, Lecce, Italy, 2008, pp. 530–533.
13. A. Somov, A. Baranov, D. Spirjakin, R. Passerone. Circuit design and power consumption analysis of wireless gas sensor nodes: one-sensor versus two-sensor approach. *IEEE Sensors Journal* 14(6): 2056-2063, 2014.
14. A. Somov, A. Baranov, D. Spirjakin. A wireless sensor–actuator system for hazardous gases detection and control. *Sensors and Actuators A: Physical* 210: 157-164, 2014.
15. Y.W. Kim, S.J. Lee, G.H. Kim, G.J. Jeon, “Wireless electronic nose network for realtime gas monitoring system,” in *Proc. ROSE*, 2009, pp. 169–172.

16. Andrey Somov, Alexander Baranov, Denis Spirjakin, Andrey Spirjakin, Vladimir Sleptsov, Roberto Passerone. Deployment and evaluation of a wireless sensor network for methane leak detection. *Sensors and Actuators A: Physical* 202: 217-225, 2013.

17. T. F. Ku. Razrabotka gazovyh sensornov s nizkim jenergopotreblenijem dlja besprovodnyh jenergonezavisimyh sensornyh setej ("umnaja pyl"). *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* №11(42): 116-122, 2015.

18. Standard EN 50194:2000: Electrical Apparatus for the Detection of Combustible Gases in Domestic Premises. Test methods and performance requirements (2000).

19. ETRX3 Product Manual [Elektronnyj resurs]. Sistem. trebovanija: Adobe Acrobat Reader. // Rezhim dostupa: <http://www.telegenesis.com/downloads/general/TGETRX3-PM-001-109.pdf> (data obrashhenija 01.05.2016).

20. Alexander Baranov, Andrey Somov, Denis Spirjakin, Saba Akbari, Roberto Passerone. POCO: 'Perpetual' operation of CO wireless sensor node with hybrid power supply. *Sensors and Actuators A: Physical* 238:112-121, 2016.

**DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.207**

**Уразбахтина Ю.О.<sup>1</sup>, Малкова З.Р.<sup>2</sup>**

Уфимский государственный авиационный технический университет

**РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СЕРВИСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ И УРОВНЯ ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СТУДЕНТОВ УФИМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВИАЦИОННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

*Аннотация*

*Статья посвящена обоснованию необходимости разработки интеллектуального сервиса для мониторинга здоровья и уровня физического развития студентов УГАТУ. Приводится анализ существующих критериев оценки показателей состояния здоровья и уровня физического развития студентов. Дается описание основных функций интеллектуального сервиса.*

**Ключевые слова:** критерии оценки, физические возможности, индекс Руфье, работоспособность.

**Urazbakhchina Yu.O.<sup>1</sup>, Malkova Z.R.<sup>2</sup>**

Ufa state aviation technical university

**DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL SERVICE FOR MONITORING OF A STATE OF HEALTH AND LEVEL OF PHYSICAL DEVELOPMENT OF STUDENTS OF THE UFA STATE AVIATION TECHNICAL UNIVERSITY**

*Abstract*

*Article is devoted to justification of need of development of intellectual service for monitoring of health and level of physical development of students of USATU. The analysis of the existing criteria of an assessment of indicators of a state of health and level of physical development of students is provided. The description of the main functions of intellectual service is given.*

**Keywords:** evaluation criteria, physical capacities, Rufye's index, working capacity.

## **I**ntroduction

Interest in an assessment of a state of health of the student is caused by need of methodically competent choice of dispensing of physical activities for each concrete occupation according to observance of requirements of the program for physical training. Effective management of process of physical training in many respects depends on experience, the volume of knowledge and qualification of the teacher giving classes with this contingent.

In the eighties the XX centuries in special literature appeared the development concerning systems of an assessment of level of health and physical capacities of a human body for use in system of mass inspections of the population.

Physical capacities are directly connected with prospect of disclosure of specific physical features of the person, in them - the potential and prospects of a human body. Diagnostics of physical capacities of the person - one of the basic links making complex process of improvement.

Development of the system of an assessment of physical capacities of an organism of students of HIGHER EDUCATION INSTITUTION is now an actual problem of physical training of this contingent as allows to improve functioning of those bodies and systems of an organism which have a reserve for development, and, therefore, influence improvement of a state of health of an organism.

Students of educational institutions are exposed to considerable and sometimes not controlled physical activities. Control of a state of health of students either is absent, or is limited by the small number of tests. At the same time, are known a large number of the functional tests allowing to estimate parameters of physical health of the person (PWC 170, a Harvard step test, Rufye's test, the maximum consumption of oxygen, an assessment of variability of a warm rhythm, etc.). Stirs introduction of regular complex control of physical health of students some factors:

1. Full implementation of all tests requires rather big time since different techniques demand to execute a certain type of loading.

2. A little, the executed in a row physical activities, can distort result of tests.

3. Some techniques estimate the same parameter (for example, working capacity) though include various mathematical apparatus and a set of physiological parameters.

As the solution of this problem creation of uniform system of quantitative objective methods the express of an assessment of physical health of the students who aren't duplicating and not competing with each other, having the uniform, unified

loading, and also the demanding minimum of available gages of physiological parameters can serve. Therefore the problem of development of the system of effective express methods and means of a condition of physical health of students is actual.

For the solution of an objective it was required to collect group of the methods meeting the following requirements:

1. The objective quantitative assessment of physical health of the person has to be made.
2. Gages have to be available in living conditions since the system has to be used further as means for self-checking of students at home.
3. Methods have to provide the greatest information on various parameters of physical health of the person and not duplicate each other.

The carried-out analysis of methods of an assessment of physical health of the person, allows to conclude that a large number of methods estimate so-called operability of a human body. Such tests as PWC170 (physical working capacity concern to them at pulse 170 beats per minute), the Harvard Step Test (HST) and the Intensity of Accumulation of a Pulse Debt (IAPD), etc. Working capacity is understood here as ability of the person to execute loading with a certain power in a definite time. Thus the heart rate (pulse) at rest, after the dosed loading is usually measured and during rest. But different techniques have the approach to a working capacity assessment, for example, estimate a difference between loading and rest, the speed of regulation of pulse or compare pulse at rest to pulse after rest. Therefore it is impossible to expel them from system, it is necessary to concretize determination of that parameter of physical health which they receive at the exit.

Other group of methods estimates the organism adaptation to loading, adaptation and functional reserves. Here such tests as Rufye's test, "20 knee-bends in 30 seconds", ortostatchesky test, etc. enter. Here both physical, and gravitational loadings (change of position of a body) are applied. Thus pulse and arterial pressure that allows to estimate regulation of nervous and cardiovascular systems are measured.

Methods with a breath delay will help to estimate an oxygen exchange: tests to the Bar and Genchi. But thus it is necessary to define a threshold of the beginning of oxygen starvation as much as possible precisely.

The assessment of a vestibular mechanism is possible by means of tests for coordination of movements (Romberg's test, etc.)

Among other things for an assessment of speed of processes of aging it is necessary to use the technique of definition of biological age of the person developed by Institute of Gerontology of the USSR Academy of Medical Sciences. The biological age is an integrated indicator of "wear" of an organism in general.

The given a number of authors, our researches and practical experience testify that among simple and easily available indicators at students the most informative and closely correlating with the size of the maximum consumption of oxygen (MCO) are: "double work" - Double product; Cardiac power index (Rufye's index); Quetelet index; Skibinsky's index and power index of Shapovalova. These indexes are closely interconnected not only with MPK, but also a number of indicators of physical fitness (first of all with results of run on 1500 meters) and sharp respiratory incidence (feedback). As we see, the complex consists of five morphological and functional indicators having the most advanced stage of interrelation with installed power per employee of an organism and the level of the general endurance and it is offered by us for inclusion in system of an assessment of physical health of students of a different floor and age.

As, the offered five indicators are measured in different units, we applied by the principle of other authors (Rufye, M. A. Godik, G. A. Apanasenko, A.P. Shapovalova) the formalized assessment of each indicator in points

1. Quetelet index = Body weight (g)/ body height (sm)
2. Double product = (Heart rate (beats per minute) x Arteriotony) / 100 (c.u.)
3. Skibinsky's index = (VC (ml) x Timed inspiratory capacity (sec)) / Heart rate (beats per minute)
4. Power index of Shapovalova = (Body weight (g)/ body height (sm)) x (quantity of inclinations in 1 min / 60) (c.u.)
5. Cardiac power index (Rufye's index) = ((4 x (P1 x P2 x P3)) - 200) / 10 (c.u.)

Except the general assessment of level of physical health, it is necessary to consider also estimates of each indicator as it gives the chance of definition of "weak places" of an organism of each student.

So low estimate of an Quetelet index can testify to insufficient food of the student or a poor development of muscles, or, on the contrary, to threat of obesity or obesity.

The low estimate of an index of Robinson (Double product) testifies to violation of regulation of activity of cardiovascular system.

At a low estimate of an index of Skibinsky it is possible to speak about insufficiency functionality of respiratory organs and blood circulation and the reduced resistance to a hypoxia.

Low estimate of the power index of Shapovalova, except a poor development of motive qualities - forces, speed and endurance, testifies to insufficiency functionality of cardiorespiratory system.

Low estimates of an index of Rufye say about the insufficient level of adaptation reserves of cardiovascular and respiratory systems that limits physical capacities of an organism of the student.

The accounting of these data will allow the teacher of physical culture or the trainer to select the rational individually dosed improving and training motive mode that will give the chance to optimize processes of growth and development of an organism of the student, with great success to level negative influence of the high school mode and the organization of educational process and other negatively influencing environment factors.

The integrated characteristic of a state of health is the level of adaptation opportunities of an organism which considers both a homeostasis and functional reserves, and degree of tension of regulatory mechanisms. Therefore the level of adaptation opportunities of an organism can be quite used as criterion for an assessment of amount of health on this interval of time (health power) at primary screening.

The general resistance which is an indicator of its resistance to various influences which studying and definition of degree and levels of adaptation of an organism to conditions of environment allows to reveal a state of health in a transition period from norm to an illness is among the most important integrated functional characteristics of an organism and in due time to begin purposeful preventive actions.

Working capacity, and finally and health of the person is defined by his adaptation reserves which opportunities are closely connected with tension of physiological mechanisms and depend at most the operating factor and duration of influence (N. A. Agadzhanian, I.V. Ruzhenkova, Yu.P. Starshinov with coauthors, 1997).

As a result of physiological researches of adults possibility of use of measurements of set of functional indicators of cardiovascular system as indicator of adaptive reactions of a complete organism of an indicator of risk of development of a disease at them is proved. Such approach is natural as the blood circulatory system is a link between all bodies and systems, between "the operating centers and the operated elements" (V. V. Parin, R. M. Bayevsky, M. D. Yemelyanov, etc., 1967; R. M. Bayevsky, A.P. Berseneva, V. K. Vakulin, etc., 1987; R. M. Bayevsky, A.P. Berseneva, 1997).

Adaptive opportunities of an organism is one of its main properties, it is a stock of functional reserves which, being spent, support interaction between an organism and Wednesday (V.P. Kaznacheev, 1980; R. M. Bayevsky, A.P. Berseneva, 1997).

For determination of level of features of functioning of the blood circulatory system and adaptation opportunities of a complete organism it is accepted to count sizes of the adaptative potential (AP) in conventional units - points.

Now for definition of adaptation opportunities various methods of a quality and quantitative standard are offered (R. M. Bayevsky, A.P. Berseneva, V. K. Vakulin, etc., 1987). The most wide recognition was gained by the principles and V.P. Kaznacheev's (1980) approaches, both V. I. Svetlichna and S.G. Tusupbekova (1990) which cornerstone the concept about cardiovascular system, as the indicator of the general adaptive reactions and about anthropometrical indicators is as indicators of the physical status of an organism.

Authors entered concept of levels of adaptation which are the indirect characteristic of a condition of adaptation opportunities of an organism.

Distinguish "satisfactory adaptation", "adaptation tension", "unsatisfactory adaptation" and "adaptation failure".

Level of adaptation is estimated on value of the adaptation indicator (AI) which calculation is made on R. M. Bayevsky's method in A.P. Berseneva's modification, etc. (1987) on the following formula:

$AP \text{ (in points)} = 0,011 (HR) + 0,014 (SAP) + 0,008 (DAP) + 0,014 (\text{age, years}) + 0,009 (\text{body weight, kg}) - 0,009 (\text{length of a body, cm}) - 0,27,$

where HR - heart rate (beats per minute);

SAP - systolic arterial pressure (in mm of mercury)

DAP - diastolic arterial pressure (in mm of mercury)

Individual sizes AP are distributed on four degrees established for adults on the basis of criteria of efficiency.

It is quite easy to transform the system of diagnostics including all set of the offered criteria for an assessment of a condition of an organism to the computer program and to carry out the forecast of a condition of physical health individually for each student and on this basis to plan and choose the relevant activities for their improvement as non-drug means and to select training programs.

Current trend of development of methods of physical training of students are works on computer support of physical training of students of higher education institutions. Results of this work take root and used in higher education institutions of the Russian Federation [1], including as cloudy services. One of the directions of this work – automation of monitoring of a state of health and level of physical development of the studying youth.

It is planned to create system with the following main functions: carrying out complex testing of a state of health and level of physical development; quantitative and quality standard; issue of the general report on personal indicators of testing and recommendations about the program of their adjustment and development; delivery of results of testing of all examinees on separate tests; statistical processing of results of monitoring with issue of final reports in a graphic look; differentiation of access rights to system (administrator of system, user researcher, user examinee).

In system a number of the well-known techniques allowing to estimate an organism adaptation energy potential, biological age, level of the maximum consumption of oxygen and some other indicators of health and physical development of the person [2] will be realized. The form of the integrated questionnaire considering the main aspects and features of activity of the studying youth will be developed for complex research of a state of health and level of physical development of students of higher education institutions by authors of work together with teachers of chair of physical training of USATU.

For carrying out the statistical analysis of a database of the integrated questionnaire the correlation matrix allowing to mark out the most significant two-dimensional dependences for the subsequent more detailed research will be used.

### Conclusion

Summing up the result told, it is possible to summarize that the system will allow to solve two main objectives.

1. To give opportunity to any person quickly and anonymously (that it is very essential) to estimate a condition of the health and level of physical development, to receive recommendations about their improvement. Why it is important for youth? Experience shows that his attitude towards own health has no the expressed need to its preservation and strengthening youth when the person is full of strength also energy. However over the years the similar desire appears and increases. Overdue understanding of value of own health is dictated by the low level of awareness of the person on criteria of an assessment of the health and methods of its strengthening.

2. The system will allow to create and accumulate an extensive database on various aspects of a state of health and level of physical development, a way of life of the studying youth, to carry out the statistical multidimensional analysis of the saved-up data allowing to plan and correct reasonably programs of physical training, improvement and physical development of students.

### References

1. Bogdanov V. M., Ponomarev V. S., Solovov A.V., Kislitsyn Yu.L. Educational multimedia complex on fundamentals of physical culture in higher education institution: manual. – Samara: Publishing house of STAU, 2007. – 328 pages.
2. Apanasenko G. L., Popova L.A. Medical valueology / Series "Hippocrates". – Rostov-on-Don: Phoenix, 2000. – 248 pages.



DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.007

Ха Ву

Инженер, Архитектурный университет Ханой, Вьетнам

# НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАНДАРТОВ СТРУКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ВЬЕТНАМА

Аннотация

Проектирование, учитывающее надежность работ, является популярной точкой зрения на проектирование в мире. Статья анализирует метод, который берет за основу надежность конструкции. Рассматриваются системы стандартов Соединенных Штатов Америки, России, Европы и Вьетнама. Автор разъясняет необходимость добавить фактор надежности конструкции при вычислении и разработки структуры в целом. Наконец, автор дает 2 предположения о том, как использовать фактор надежности в практическом структурном проектировании во Вьетнаме.

**Ключевые слова:** надежность, стандарт, структура, сейсмическая нагрузка, ветровая нагрузка.

Ha Vu

Engineer, Hanoi Architectural University, Vietnam

## SOME ATTENTIONS ON STRUCTURAL DESIGN STANDARDS IN CURRENT CONDITIONS OF VIETNAM

Abstract

Design taking into consideration the "importance" of the works is a popular design viewpoint in the world. The article analyses the method which takes the importance of the construction extracted from the Standard Systems of the United States of America, Russia, Europe and Vietnam into account. In which, the author clarifies the need to supplement the important factors of the construction when calculating and designing the structure in general. Finally, the author gives two notices on how to use the important factor in practical structural design in Vietnam.

**Keywords:** importance, standard, structure, seismic load, wind load.

### 1. Introduction

The taking into consideration of the importance of the works requires both types of information: Classification, decentralization of works based on their importance; and respective importance factor values. Standard systems of the US, Russia, Europe have this information. However, the norm and standard system of Vietnam only has QCVN 03/2012/BXD "Principles for classification, decentralization of civil, industrial works and urban infrastructure", without respective importance factor values. Therefore, the research and consideration on the work importance method in structural design in current conditions of Vietnam has an important role, in the context Vietnam is strongly developing its social infrastructure.

### 2. The method of taking into consideration importance of works in standard systems

#### 2.1. American Standard ASCE 7-2010

ASCE 7-2010 decentralizes works into 04 risk categories from I to IV, in which category I is the lowest, category IV is the highest[1].

Table 1 – Risk category of Buildings and Other Structures for Flood, Wind, Snow, Earthquake, and Ice Loads

Use or Occupancy of Buildings and Structures	Risk Category
Buildings and other structures that represent a low risk to human life in the event of failure	I
All buildings and other structures except those listed in Risk Categories I, III, and IV	II
Buildings and other structures, the failure of which could pose a substantial risk to human life.	III
Buildings and other structures, not included in Risk Category IV, with potential to cause a substantial economic impact and/or mass disruption of day-to-day civilian life in the event of failure.	
Buildings and other structures not included in Risk Category IV (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, hazardous waste, or explosives) containing toxic or explosive substances where their quantity exceeds a threshold quantity established by the authority having jurisdiction and is sufficient to pose a threat to the public if released.	
Buildings and other structures designated as essential facilities.	IV
Buildings and other structures, the failure of which could pose a substantial hazard to the community.	
Buildings and other structures (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, or hazardous waste) containing sufficient quantities of highly toxic substances where the quantity exceeds a threshold quantity established by the authority having jurisdiction to be dangerous to the public if released and is sufficient to pose a threat to the public if released.	
Buildings and other structures required to maintain the functionality of other Risk Category IV structures.	

(Source: ASCE 7-2010 Minimum design loads for buildings and other structures)

Based on the guideline on decentralization of buildings, ASCE 7-2010 gives importance factor corresponding to categories as follows:

1) For seismic load

Table 2 – Importance Factors by risk Category of Building and Other Structures for Earthquake Load

Risk Category	Seismic Importance Factor
	$I_e$
<b>I</b>	1.00
<b>II</b>	1.00
<b>III</b>	1.25
<b>IV</b>	1.50

(Source: ASCE 7-2010 Minimum design loads for buildings and other structures)

For equivalent horizontal static method,  $I_e$  value is multiplied directly into the bottom shear force  $V$ . For response spectrum method, under Article 12.9.2,  $I_e$  value is multiplied into the response spectrum, and then such response spectrum is used to calculate design parameters of interest such as floor eccentricity, internal force in structures, ... Thus, the use of importance factor for seismic load according to ASCE 7-2010 of the US is similar to ISO 9386/2012 of Vietnam.

2) For wind load

In ASCE 7-2005, the wind pressure  $q_z$  at height  $z$  is calculated by the formula (1):

$$q_z = 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \times I \quad (N/m^2) \quad (1)$$

In which:

$K_d$  - wind direction factor;

$K_z$  – velocity pressure exposure coefficient according to the height and land forms;

$K_{zt}$  – topographic factor;

$V$  - basic wind speed (3-second gust, measured at 10 meter height from ground, the standard terrain is C, recurrence interval: 50 years), in m/s;

$I$  - importance factor for wind load;

Table 3 – Importance Factor for Wind Load according to ASCE 7-2005 of the US

Category	Importance Factor for Wind Load	
	Non-Hurricane Prone Regions and Hurricane Prone Regions with $V = 85$ -100 mph and Alaska	Hurricane Prone Regions with $V > 100$ mph
<b>I</b>	0.87	0.77
<b>II</b>	1.00	1.00
<b>III</b>	1.15	1.15
<b>IV</b>	1.15	1.15

(Source: ASCE 7-2005 Minimum design loads for buildings and other structures)

In addition, in basic combinations for calculation under extreme conditions where wind load is dominant, the wind load is multiplied by the combination factor of 1.6 (article 2.3.2, ASCE 7-2005 of the US). In ASCE 7-2010 of the US, wind pressure  $q_z$  at height  $z$  is calculated using the formula:

$$q_z = 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \quad (N/m^2) \quad (2)$$

In which, factors  $K_d$ ,  $K_z$  and  $K_{zt}$  still take the same as ASCE 7-2005

The importance factor does not appear in the formula (2). Instead, ASCE 7-2010 gives three wind velocity maps A, B, C (with base wind speed of 3 second gust, measured at 10 meter height from the ground, standard terrain is C) for different categories of works. In details:

- Figure A: For category II buildings and other structures. The excess probability is 7% within 50 years (Mean Recurrence Interval-MRI = 700 years).

- Figure B: For category III and IV buildings and other structures. The excess probability is 3% within 50 years (MRI = 1700 years).

- Figure C: For category I buildings and other structures. The excess probability is 15% within 50 years (MRI = 300 years).

Thus, ASCE 7-2010 of the US divides three types of figure for different categories of buildings. In ASCE 7-2010 the wind load combination factor in basic combinations where wind load is dominant is 1, because the recurrence interval of wind load takes the maximum prescribed for each category rather than the conventional recurrence interval of 50 years for wind load as in ASCE 7-2005. In addition, when calculating flood, snow, ice loads, the American Standard ASCE 7 also considers the importance factor.

## 2.2. Russian Standard System

Under Article 4 of the Russian Federation Law No. 384-FZ signed on 30/12/2009 "Technical regulations on the safety of buildings and other structures,"[11] buildings and other structures are divided into three levels of importance: high, medium and low. Clause 7, Article 26, of this law stipulates that: Safety calculations of structural solutions of buildings and other structures must be made taking into account the importance of the buildings and other structures which are being designed.

With this purpose, the calculated value of internal forces in structural components and foundations of buildings and other structures must be determined taking into account the importance factor which should not be less than the following values:

- 1.1 for buildings and other structures of high importance;
- 1.0 for buildings and other structures of medium importance;
- 0.8 for buildings and other structures of low importance.

Thus, the taking into consideration of the importance of works through decentralization and use of importance factor in structural calculation is required under the Russian Federation Law. On that basis, GOST R 54257-2010 standard *"Reliability of construction structures and background: basic principles and requirements"*[9] gives more detailed provisions on work decentralization based on their importance. Accordingly, depending on social, economic and environmental consequences caused by damaged or demolished buildings and other structures are decentralized into categories 1a (special importance), 1b (high importance), 2 (normal importance) and 3 (low importance). 1a and 1b are smaller grades of category 1 according to the Russian Federation Law 384-FZ dated 20.12.2009.

Based on the work category, GOST R 54257-2010 of the Russian Federation gives the minimum value of importance factor in the following table

Table 4 – Minimum values of importance factor

Category	Minimum values of importance factor
<b>1a</b>	1,2
<b>1b</b>	1,1
<b>2</b>	1,0
<b>3</b>	0,8

(Source: TCVN 9386: 2012. Earthquake resistant work design)

Specific categories according to the importance and importance factor value are determined by the designer and approved by the investor, but not lower than the values listed in Table 4. Different structures of the buildings allow different use of importance factors. The importance factor is multiplied directly with impact consequences determined by calculating basic load combinations according to the first limit state. When the calculation is based on the second limit state, the allowed importance factor is 1. For special load combinations (for example, combinations containing seismic load), the rules mentioning the importance of works are specified separately in design standards or design tasks. It is understood that, if the specialized design standard (eg shock-resistant design standard) has its own regulations on the importance, these regulations should be followed and the importance factor above is unused. Former versions of shock-resistant design standards (SNIIP II-7-81 and SNIIP II-7-81\*) gave no guideline on classification of works by the importance.

The new standard SP 14.13330.2011 [10] has added new guidelines on classification of works by the importance and had respective importance factors (Table 3) separately for earthquake resistant design. The new shock-resistant design draft of Vietnam has been compiled on the basis of this standard of Russia

Table 5 – Factor  $K_0$  is determined according to the work function

Function of buildings and other structures	Value $K_0$
1. Memorial buildings and other structures; large-scale theaters, sport centers and concert spaces of over 2000 seats, governmental buildings of high importance, radio stations with a total generating capacity of over 500 W	2.0
2. Buildings and other structures: - Their function should be maintained upon earthquake and when remedying consequences (governmental information house, house for emergency rescue services and police; water and energy supply systems; fire prevention and gas supply works, works containing large amounts of poisons and explosives, possibly causing great damages to residential areas, health authorities with equipment to be used in accidents); - In which appearing danger to people inside (hospitals, schools, kindergartens, railway stations, airports, museums, theaters, circuses, concerts and sports spaces, roofed markets, commercial complexes with presence of more than 300 people at the same time, more than 16 floor buildings); - House and other buildings, if suspended, can lead to severe damage on economy, society and environment.	1.5
3. Buildings and other structures not listed in 1 and 2	1.0
4. Temporary works with shelf life of less than 3 years	0.75

(Source: TCVN Draft "Work design in earthquake areas", 2014)

### 2.3. European standards

Appendix B of the European Standard EN 1990 [3] has instructions on how to classify works based on the consequences caused by damaged works (Table 6) as follows:

Table 6 – Definition of consequences classes

Consequences class	Description	Examples of buildings and civil engineering works
CC3	High consequence for loss of human life, or economic, social or environmental consequences very great	Grandstands, public buildings where consequences of failure are high (e.g. a concert hall)
CC2	Medium consequences for loss of human life, social or environmental consequences considerable	Residential and office buildings, public buildings where consequences of failure are medium (e.g. an office building)
CC1	Low consequences for loss of human life, and economic, social or environmental consequences small or negligible	Agricultural buildings where people do not normally enter (e.g. storage buildings), greenhouses

(Source: Table B1 - EN 1990-2002 Basis of structural design)

Section B.2 and B.3 of European standard EN 1990 refers to classification of reliability of works (Reliability class - RC). Accordingly, works are divided into three types of reliability RC1, RC2 and RC3. However, the relationship between concepts RC1, RC2, RC3 with CC1, CC2, CC3 is mentioned generally that they can suitable with each other. In addition, EN 1990 also gives classification by the design life and applicable region to determine the effect live load. According to the author, the guidance in Appendix B of EN 1990 is quite complicated and difficult to be applied in practiced design, due to lack of specific indications as other standard systems. Eurocode 8 [4] divides works into 04 categories from I to IV (Table 7).

Table 7 – Importance classes for buildings

Buildings	Importance class (Category)
Buildings of minor importance for public safety, e.g agricultural building, etc.	I
Ordinary building, not belonging in the order categories.	II
Buildings whose seismic resistance is importance in view of the consequences associated with a collapse, e.g school, assembly halls, cultural institutions etc.	III
Building whose integrity during earthquakes is of vital importance for civil protection, e.g. hospitals, fire stations, power plants, etc.	IV

(Source: BS EN 1998-1: 2004 Design of structures for earthquake resistance. Part 1 - General rules, seismic actions and rules for buildings)

Importance factors for categories are 0.8, 1, 1.2, 1.4 respectively and directly multiplied in reference ground acceleration value  $a_{gr}$  to be turned into the ground acceleration value used in design.

### 2.4. Vietnam standard

The regulation system (QC), standard system (TC) of Vietnam has QCVN 03/2012 "Principles for classification, decentralization of civil, industrial works and urban infrastructure" [6] gives method for classification, decentralization of works, aimed at determining economic – technological solutions and approving construction design, investment projects. Accordingly, works are divided into five categories: special category, categories I, II, III, IV. In which the special category is the highest, category IV is the lowest. However, in regulation and standard system of Vietnam, except shock-resistant design standard ISO 9386:2012 [7], the importance factor of buildings and other structures corresponding to the decentralization methods stated in NTR 03:2012/BXD is not mentioned to. In means that in structural calculations with basic load combinations, there is no difference between the special category works and normal category works. Particularly, the shock-resistant design standard TCVN9386:2012 refers quite specifically to the work decentralization and its respective importance factor as follows [8]:

- Works are decentralized into 5 categories according to their importance, similar to QCVN 03:2012;
- Special category: required to be calculated with the greatest possible acceleration value without stating the importance factor value  $\gamma_I$ , in particularly:
  - Category I:  $\gamma_I = 1.25$ ;
  - Category II:  $\gamma_I = 1$ ;
  - Category III:  $\gamma_I = 0.75$ ;
  - Category IV: Unnecessary to calculate earthquake;
- Method: Like Eurocode 8, multiplied directly in the reference ground acceleration  $a_{gr}$ . The Vietnam standard system for purpose of calculating structure is primarily based on Russian standard system, but absolutely without concept of the importance factor, although there has had specific provisions on decentralization of works. Only shock-resistant design standard TCVN 9386:2012 based on Eurocode 8 has importance factor.

Based on the analysis above, a comparison between systems can be given as follows (Table 8):

Table 8 – Summary and comparison of methods taking into consideration importance factor in structural calculations

Content	America (ASCE 7-2010)	Russia	Europe	Vietnam
Importance-based decentralization	Divided into 04 categories from I to IV. Category IV is the most important. There is no separate decentralization in shock resistance calculations.	Divided into 04 categories: 1a, 1b, 2, 3. 1a is the most important category. There is separate decentralization in shock resistance calculations. Divided into 04 categories from 1 to 4. Category 1 is the most important.	Divided into 3 categories CC1, CC2, CC3 (or RC1, RC2, RC3). CC3 (or RC3) is the most important. There is separate decentralization in shock resistance calculations. Divided into 04 categories from I to IV, category IV is the highest.	Divided into 5 categories: special category and categories I, II, III, IV. In which IV is the lowest category. Similar decentralization in calculating shock resistance.
Importance factor in structural calculations	Use separate importance factor for some types of loads: wind, earthquake, flood, snow, ice	Use common importance factor for basic load combinations. Special load combinations have own regulations on importance factor in the specialized standards or design tasks.	Only has importance factor in shock resistance calculations	Only has importance factor in shock resistance calculations
For wind load	Use 3 wind zoning maps: A (MRI= 700 years) for category II works; B (MRI= 1700 years) for category III, IV works; C (MRI=300 years) for category I works	Multiply importance factor in consequences of all basic load combinations. The importance factor should not be less than: 1.2 for category 1a; 1.1 for category 1b; 1.0 for category 2; 0.8 for category 3.	There is no specific regulation. The calculated repeating cycle of wind load is about > 1800 years.	There is no specific regulation.
For seismic load	Category I - $I_e = 1.0$ ; Category II - $I_e = 1.0$ ; Category III - $I_e = 1.25$ ; Category IV - $I_e = 1.5$ . Multiplied in bottom shear force or response spectrum.	Category 1 - factor $K_0 = 2$ ; Category 2 - $K_0 = 1.5$ ; Category 3 - $K_0 = 1$ ; Category 4 - $K_0 = 0.75$ . Multiplied in the earthquake load value	Category I - $\gamma_I = 0.8$ ; Category II - $\gamma_I = 1$ ; Category III - $\gamma_I = 1.2$ ; Category IV - $\gamma_I = 1.4$ . Multiplied in reference acceleration $a_g R$ .	Special category: calculated with the possibly greatest acceleration. Category I: $\gamma_I = 1.25$ . Category II $\gamma_I = 1$ . Category III: $\gamma_I = 0.75$ Category IV: No need to calculate earthquake. Multiplied in reference acceleration $a_g R$ .
Reference	ASCE 7-2010	Law LB 384-FZ, GOST R 54257-2010, SP 14.13330.2011	BS EN 1990:2002, BS EN 1998-1:2004	QCVN 03:2012/BXD, TCVN9386:2012, TCVN 2737:1995, QCVN 02:2009/BXD

### 3. Conclusion

Through studies and analysis of a number of standard systems commonly used in Vietnam, we can see that the decentralization of works by importance and taking it into consideration in structural calculations are necessary. Especially with the wind load, one of regularly appeared loads when designing civil and industrial projects. However, standard systems of Vietnam have no specific regulations. In addition, although in Vietnam, snow load is less common, it may still occur in the northern mountainous regions of Vietnam, so adding this type of load into the standard system of Vietnam is necessary.

The method of taking into consideration the importance of structural design and practice is to use "importance factor". Looking through structural design standards mentioned in this article, there are two attentions on using "importance factor".

Firstly, applying separate "importance factor" for some certain loads. For example, wind, earthquake, snow, ice, flood loads, such as the American standard ASCE 7-2010). The remaining loads (dead load, live load) are used in designs not depending on work categories.

Secondly, using an "importance factor" for all basic loads (frequent load, temporary load), and a separate importance factor for special loads (eg seismic load), as mentioned in the Russian standard.

For basic loads, Vietnam standard system does not mention to the importance factor, although main design standards of Vietnam are compiled on the basis of Russian standard system. This fact requires an addition of the method taking into consideration "the importance" of works in general structural design calculations to Vietnam standard system. In addition, there should have studies on how to determine importance factor in countries and how to apply this importance factor in conditions of Vietnam on the basis of the design criteria for safety and economy, suitable with conditions of Vietnam.

#### References

1. ASCE 7-2005 Minimum design loads for buildings and other structures.
2. ASCE 7-2010 Minimum design loads for buildings and other structures.
3. BS EN 1990:2002 Basis of structural design.
4. BS EN 1998-1:2004 Design of structures for earthquake resistance. Part 1 – General rules, seismic actions and rules for buildings.
5. Vietnam Standard Draft "Work design in earthquake areas", 2014.
6. Nguyen Xuan Chinh. Translation draft EN 1990-2002.
7. QCVN 03/2012 «Principles for classification, decentralization of civil, industrial works and urban infrastructure».
8. TCVN 9386: 2012. Earthquake resistant work design.
9. GOST R 54257-2010 «Reliability of constructions and foundations. Basic principles and requirements».
10. SP 14.13330.2011 Seismic Building Design Code. Updated Version of SnIP II-7-81\*.
11. Russian Federation Federal law N384-FZ of December 30, 2009. «Technical regulation on safety of buildings and structures».

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.132

Цой А.А.<sup>1</sup>, Демехин Ф.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Аспирант;

<sup>2</sup>доктор технических наук,

Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России  
**КРИТЕРИИ МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ  
 КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ФАКЕЛЬНОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГОРЕНИЯ**

#### Аннотация

*В статье рассмотрено влияние факельного углеводородного горения на строительные конструкции и технологические установки. Выделены реактивная, углеводородная и стандартная зоны факельного горения. Приведены результаты испытаний вспучивающихся огнезащитных покрытий на разработанной экспериментальной установке, выведены критерии модели эффективности огнезащитных покрытий: относительная огнезащитная эффективность, критерий факельности. Сделаны выводы о применимости огнезащитных составов в зонах горения.*

**Ключевые слова:** факельное углеводородное горение, огнезащитные покрытия, огнезащитная эффективность.

Tsoy A.A.<sup>1</sup>, Demehin F.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Postgraduate student;

<sup>2</sup>PhD in Engineering,

Saint-Petersburg University of State fire service of EMERCOM of Russia

**CRITERIA OF MODEL OF FIRE RATING OF FLAME-RETARDANT COATING FOR STEEL STRUCTURES  
 IN THE CONDITIONS OF HYDROCARBON JET FIRE**

#### Abstract

*The article considers the influence of hydrocarbon Jet fire on building structures and technological installations. Separate of the zones of the flame: jet fire, hydrocarbon fire and universal fire. The results of testing of foaming flame-retardant coatings on the developed experimental setup, derived model criteria of fire rating of flame-retardant coating: the relative fire rating, the criterion of flare.*

**Keywords:** hydrocarbon Jet fire, flame-retardant coating, fire rating.

**Х**арактерным и наиболее опасным физическим явлением, возникающим при реализации пожароопасных ситуаций на объектах нефтегазовой отрасли, является факельное горение. При факельном горении развиваются сильные высокотемпературные газовые потоки с температурой горения до 1500 °С и скоростью истечения, которая может быть близка к местной скорости звука (до 340 м/с). Плотность теплового потока достигает 300 кВт/м<sup>2</sup>, что создает опасность потери механической прочности и деформации в течение первых 5-10 мин омываемых пламенем или находящихся вблизи него конструкций и технологических аппаратов. Особенностью факельного горения горючих жидкостей или газов является, как правило, непрерывное нарастание площади, охваченной горением.

В связи с этим большой интерес вызывает поведение тонкослойных вспучивающихся огнезащитных покрытий в условиях факельного углеводородного горения и их применение на объектах нефтегазовой отрасли.

Рассмотрим влияние факельного горения на технологические установки и строительные конструкции.

В настоящее время накоплен большой объем теоретических и экспериментальных исследований по вопросам факельного горения [1-3]. Опубликованная информация о фактических характеристиках факельных пожаров на объектах нефтегазовой отрасли имеет крайне ограниченный и противоречивый характер. Поэтому в качестве модельного приближения достаточно сложной и спонтанно меняющейся во времени формы пламени примем, что факел имеет вытянутую цилиндрическую форму, расширяющуюся в сторону истечения газа.

Факел пламени, образующийся в случае пожара при разгерметизации технологического оборудования, можно разделить на три зоны (рис.1) с различными температурными и скоростными параметрами газового потока. По мере удаления от отверстия температура и скорость газового потока постепенно уменьшаются.

1. Зона реактивного горения – характеризуется высокой температурой (свыше 1500 °С) и скоростью газового потока (до 150 м/с). Под действием высокоскоростного газового потока происходит практически мгновенное разрушение огнезащитного покрытия. Огнестойкость строительных конструкций в данной зоне, как правило, не превышает 3 мин.

2. Зона углеводородного горения – характеризуется высокой температурой (до 1500 °С), но более низкой скоростью газового потока (до 70 м/с), по сравнению с зоной реактивного горения. Огнестойкость строительных конструкций в данной зоне не превышает 5-10 мин, разрушение огнезащитных покрытий происходит достаточно быстро, но с сохранением определенного запаса времени для принятия решений по пожаротушению или включению систем автоматического пожаротушения. Данную зону можно характеризовать как зона углеводородного пожара.

3. Зона стандартного горения – характеризуется стандартным температурным режимом (ГОСТ 30247.0-94). Средняя температура пламени не превышает 800 °С, скорость газового потока менее 20 м/с. Огнестойкость строительных конструкций в данной зоне может достигать 15-20 мин. Огнезащитная эффективность покрытий соответствует времени испытаний, в условиях стандартного температурного режима.



Рис. 1 – Зоны факельного горения

Воздействие факела пламени на какую-либо конструкцию или установку уменьшается в сторону истечения газового потока, вследствие чего уменьшается температурное и аэродинамическое воздействие на огнезащитные покрытия.

Проведены испытания тонкослойных вспучивающихся огнезащитных составов на экспериментальной установке с применением газовой горелки, имитирующей воздействие факельного горения, на различных расстояниях.

Результаты испытаний исследованных образцов огнезащитных покрытий представлены в таблицах 1-4.



Таблица 1 – Время огнезащитной эффективности по результатам проведения испытаний при температуре пламени газовой горелки 1100 °С ( $l_{гн}=140$  мм)

Наименование состава	Время огнезащитной эффективности				
	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Стабитерм-217	12	11	13	11	13
Fire Protect	8	8	8	7	6
Фризол-ЭП	6	7	7	6	5
Chartek 1709	33	30	33	29	28
ПЗСМ	16	15	16	14	15

Таблица 2 – Время огнезащитной эффективности по результатам проведения испытаний при температуре пламени газовой горелки 930 °С ( $l_{гн}=180$  мм)

Наименование состава	Время огнезащитной эффективности				
	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Стабитерм-217	17	18	20	18	19
Fire Protect	13	14	14	13	12
Фризол-ЭП	11	13	13	12	11
Chartek 1709	более 40	более 40	более 40	более 40	более 40
ПЗСМ	22	21	20	20	19

Таблица 3 – Время огнезащитной эффективности по результатам проведения испытаний при температуре пламени газовой горелки 830 °С ( $l_{гн}=200$  мм)

Наименование состава	Время огнезащитной эффективности				
	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Стабитерм-217	23	25	27	25	26
Fire Protect	22	18	18	20	18
Фризол-ЭП	20	19	17	20	18
Chartek 1709	более 40	более 40	более 40	более 40	более 40
ПЗСМ	31	29	32	29	30

Таблица 4 – Время огнезащитной эффективности по результатам проведения испытаний при температуре пламени газовой горелки 730 °С ( $l_{гн}=240$  мм)

Наименование состава	Время огнезащитной эффективности				
	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Стабитерм-217	32	31	32	31	33
Fire Protect	26	28	26	26	26
Фризол-ЭП	24	25	27	26	25
Chartek 1709	более 40	более 40	более 40	более 40	более 40
ПЗСМ	35	37	37	36	37

Проведенные испытания показали, что основная причина разрушения огнезащитных покрытий в условиях факельного углеводородного горения происходит вследствие абляции – уноса высокотемпературным газовым потоком части материала с поверхности покрытия. Под действием газового потока на поверхности вспученного покрытия образуется отверстие, которое с течением времени постепенно расширяется в ширину и в глубину по мере прогорания. В результате этого, происходит воздействие факела пламени непосредственно на поверхность пластины, незащищенной огнезащитным покрытием.

Время эффективности огнезащитных составов, при проведении испытаний на расстоянии 0,14 м, значительно ниже (в 2-4 раза), чем при стандартном режиме испытаний, что связано с более жесткими температурными и аэродинамическими условиями воздействия газовой горелки на образцы (температур испытаний около 1100 °С, скорость газового потока около 60 м/с). Исключение составил зарубежный огнезащитный состав Chartek-1709, сертифицированный по зарубежным стандартам на углеводородное горение. Среднее время испытаний огнезащитного состава Chartek-1709 на данном расстоянии составило 30 мин.

По мере удаления образцов от сопла горелки происходит уменьшение абляции покрытий, что связано с уменьшением скорости и температуры газового потока. Уже на расстоянии около 200 мм образование отверстия в

огнезащитном покрытии не происходит, в связи с чем наблюдается увеличение времени огнезащитной эффективности испытываемых составов.

Однако говорить о том, что данные огнезащитные средства не рекомендуются к применению на объектах нефтегазовой отрасли, нельзя. Испытуемые огнезащитные составы обладают определенной огнезащитной эффективностью, которой может оказаться достаточной для обеспечения инерционности при срабатывании систем пожаротушения, водяного орошения, защитных водяных завес, а также в отдельных случаях применять для защиты путей эвакуации персонала.

Таким образом, противопожарная защита технологических установок и строительных конструкций (в том числе огнезащитная обработка) должна осуществляться в зависимости от возможности возникновения факельного горения на той или иной технологической установке и приблизительного определения границ зон горения. В этих целях необходимо провести подробный анализ пожарной опасности защищаемого объекта, определить возможные места и вероятность возникновения факельного горения, а также границы зон в зависимости от длины факела.

Определению длины факела посвящено много работ, в которых содержатся предложенные разными авторами расчетные или эмпирические формулы. На основании полученной длины факела строятся зоны факельного горения.

Таким образом, были выделены два критерия модели эффективности огнезащитных покрытий для строительных конструкций и технологических установок объектов нефтегазовой отрасли:

1. Относительная огнезащитная эффективность ( $K_{оэ}$ ) – безразмерная величина, характеризующая отношение показателей эффективности огнезащитных составов при испытаниях в условиях стандартного температурного режима ( $\tau_{ст}$ ) и в условиях факельного углеводородного горения ( $\tau_{ф}$ ). Выражается коэффициентом, который принимает различные значения, в зависимости от типа огнезащитного состава:

$$K_{оэ} = \frac{\tau_{ст}}{\tau_{фуг}}$$

На примере проведенных испытаний, была рассчитана относительная огнезащитная эффективность испытанных огнезащитных покрытий (таб. 5).

Таблица 5 – Относительная огнезащитная эффективность испытанных огнезащитных составов

Наименование состава	Испытываемое время ОЗЭ, мин	Полученное время ОЗЭ при проведении испытаний, мин	Относительная огнезащитная эффективность
Стабиперм-217	30	12	2,5
Fire Protect	30	7,4	4,1
Фризол-ЭП	30	6,2	4,8
Chartek 1709	30	30,6	1
ПЗСМ	30	15,2	2

Сделаны следующие выводы:

Если коэффициент относительной огнезащитной эффективности принимает значение равное или меньше единицы ( $K_{оэ} \leq 1$ ), то применение данного огнезащитного состава на строительных конструкциях и технологических установках нефтеперерабатывающих производств допустимо во всех зонах, включая реактивную зону факельного горения.

Если коэффициент принимает значения от 1 до 2,5 ( $1 < K_{оэ} \leq 2,5$ ), то применение данных составов допускается в зонах углеводородного и стандартного горения. Применение данного огнезащитного состава возможно в зоне реактивного горения только при увеличении толщины слоя нанесенного покрытия в 2-2,5 раза от рекомендуемого (по технической документации на покрытие),

При значениях коэффициента более 2,5 ( $K_{оэ} > 2,5$ ) применение данного состава допустимо только в зонах стандартного горения, либо в зонах реактивного и углеводородного горения для обеспечения инерционности при срабатывании систем пожаротушения, водяного орошения, защитных водяных завес, а также в отдельных случаях для защиты путей эвакуации персонала. При увеличении толщины слоя нанесенного покрытия в 2-2,5 раза от рекомендуемого (по технической документации на покрытие) данные составы, возможно, применять в зоне углеводородного горения.

2. Критерий факельности ( $K_{ф}$ ) – коэффициент, характеризующий воздействие высокотемпературного газового потока в зависимости от удаленности от отверстия истечения газа.

Расчет длин разнообразных факелов позволил выделить следующие средние расстояния зон горения факела пламени от отверстия истечения (таб. 6).

Таблица 6 – Длины зон факельного горения

Длина факела пламени	Зона реактивного горения	Зона углеводородного горения	Зона стандартного горения
от 10 до 15 м	до 5 м	5-12 м	от 12 м
от 15 до 30 м	до 10 м	10-25 м	от 25 м
свыше 30 м	до 15 м	15-35 м	от 35 м

### Литература

1. Вулис Л.А., Ярин Л.П. Аэродинамика факела. Л.: Энергия, 1978.
2. Тимофеева С.С., Дроздова Т.И., Плотникова Г.В., Гольчевский В.Ф. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. 178 с.

3. Андрюшкин А.Ю. Формирование дисперсных систем сверхзвуковым газодинамическим распылением: монография / А. Ю. Андрюшкин. СПб.: БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2012. 400 с. - ISBN 978-5-85546-673-7.

#### References

1. Vulis L.A., Jarin L.P. Ajerodinamika fakela. L.: Jenergija, 1978.
2. Timofeeva S.S., Drozdova T.I., Plotnikova G.V., Gol'chevskij V.F. Fiziko-himicheskie osnovy razvitiya i tusheniya pozharov: ucheb. posobie. Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2013. 178 s.
3. Andrjushkin A.Ju. Formirovanie dispersnyh sistem sverkhzvukovym gazodinamicheskim raspyleniem: monografija / A. Ju. Andrjushkin. SPb.: BGTU «VOENMEH», 2012. 400 s. - ISBN 978-5-85546-673-7.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.061

Черкашина Н.И.

ORCID: 0000-0003-0161-3266, Кандидат технических наук,

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания Минобрнауки в сфере научной деятельности № 11.2034.2014

### УСТОЙЧИВОСТЬ ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ К МИКРОМЕТЕОРИТНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

*Аннотация*

*В статье рассмотрена устойчивость терморегулирующих покрытий на основе полимерных композитов к микрометеоритному воздействию. В качестве частиц использовались преимущественно металлические частицы: Al, Cr, Fe, Ni, Cu, Mo, W, Ti и др. с размерами от 0,1–9 мкм. Также в работе представлены данные по облучению материалов сажей, для создания имитации воздействия космической пыли.*

**Ключевые слова:** терморегулирующие покрытия, полимеры, микрометеоритное воздействие.

Cherkashina N.I.

ORCID: 0000-0003-0161-3266, PhD in Engineering,

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

### THE STABILITY OF THERMAL CONTROL COATINGS BASED ON POLYMER COMPOSITES TO MICROMETEORITE EFFECTS

*Abstract*

*The article the stability of thermal control coatings based on polymer composites to micrometeorite effects. As particles have been used predominantly metallic particles: Al, Cr, Fe, Ni, Cu, Mo, W, Ti and etc. with sizes from 0.1–9 microns. Also, the paper presents data on irradiation of soot materials, to create a simulation of the impact of space dust.*

**Keywords:** thermoregulatory coatings, polymers, micrometeorite impact.

Элементы, находящиеся на внешней поверхности космического аппарата подвергаются негативным воздействиям космоса [1-8], особенно сильным ударам микрометеоритных частиц [9-16]. Характеристики по которым оценивают большинство микрометеоритов следующие: масса –  $10^{-17}$  –  $10^{-9}$  кг, интегральная плотность потока –  $10^{-8}$  част./см<sup>2</sup>, интервал скоростей относительно КА – до 72 км/с.

Столкновение микрометеоритных частиц с указанными выше параметрами с элементами космического аппарата, находящимися на внешней стороне обычно не вызывают пробой оболочки космического объекта, но могут вызвать эрозию внешних элементов [17-25] и изменить их первоначальные функциональные свойства [26-30]. Поэтому актуальным является проведение экспериментов по взаимодействию микрометеоритных частиц в широком диапазоне скоростей элементами космического летательного объекта, находящимися на внешней его стороне.

При столкновении микрометеоритной частицы с твердым веществом за очень малое время возникает пространство сильного сжатия материи, которое и является источником ударной волны, как в твердом веществе, так и в микрометеоритной частице.

Исходные значения ударной волны, как правило, определяются законами сохранения энергии, массы и импульса, а также уравнениями состояния материала (мишени) и снаряда (микрометеоритной частицы). Известно, что при столкновении частицы, сделанной из стали о вещество, которое тоже выполнено из стали со скоростью порядка  $10^{-80}$  км/с, то создаваемое давление в вистеме будет огромным и равным не менее  $10^{11}$  –  $10^{13}$  Па. Однако, при ударах частиц, обладающих низкой скоростью, приблизительно 1 км/с, основную роль уже будет играть пластическая деформация вещества, на которое падает частица, т.е. происходит выдавливание или выплескивание частичек материала из образовавшегося «кратера», вокруг которого образуется свободное пространство. Если вещество, на которое падает набегающая частица хрупкое, например, сделано из стекла, то образовавшаяся ударная волна приведет к хрупкому разрушению и образуются трещины (радиальные и тангенциальные).

В данной работе изучалось взаимодействие микрометеоритных частиц с полимерными композитами терморегулирующего назначения. В качестве матрицы для синтеза полимерных композитов в работе использовали полиалканимид, а в качестве наполнителя модифицированный алюмосилсесквioxаном вольфрамат свинца.

Устойчивость разработанных полимерных композитов к микрометеоритному воздействию исследовалось на специализированном генераторе ускоряющих частиц. Напряжение ускорения для данного оборудования находится в широком интервале от  $2 \cdot 10^5$  до  $4 \cdot 10^6$  В. Установка находится в НИИЯФ МГУ.

Использование вышеописанной установки для имитации потоков микрометеоритных частиц позволило изучить происходящие эффекты взаимодействия частиц с разработанными полимерными композитами различного состава в следующем диапазоне скоростей частиц от 0,1 до 30 км·с<sup>-1</sup>.

В проводимом эксперименте использовались преимущественно металлические частицы: Al, Cr, Fe, Ni, Cu, Mo, W, Ti и др. с размерами от 0,5–10 мкм. Исследования проводились в вакуумных камерах при остаточных давлениях  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па. Измерение терморегулирующих свойств разработанных полимерных композитов проводилось до и после проведения эксперимента, имитирующего микрометеорное столкновение. После проведенных исследований измеряли изменение интегрального коэффициента поглощения солнечного излучения  $A_s$  и коэффициента теплового излучения (степень черноты)  $\varepsilon_v$ , которые также зависели от типа частицы, ее скорости. Количество микрометеоритных частиц, взаимодействующих с разработанными композитами в потоке составляло приблизительно  $2 \cdot 10^4$  частиц.

Результаты полученных экспериментов, представлены в таблицах 1–3.

Таблица 1 – Воздействие тяжелых частиц с чистым полиалканимидом

Состав микро-частицы	Скорость частиц, км·с <sup>-1</sup>	As		ε	
		До эксперимента	После эксперимента	До эксперимента	После эксперимента
Al 0,9 мкм	2	0,452	0,825	0,551	0,579
Cr 0,4 мкм	6	0,452	0,635	0,551	0,563
Fe 0,2 мкм	5	0,452	0,523	0,551	0,585
Ni, 0,8 мкм	7	0,452	0,782	0,551	0,574
Cu 0,3 мкм	3	0,452	0,632	0,551	0,562
Mo 0,3 мкм	3	0,452	0,869	0,551	0,574
W 0,2 мкм	4	0,452	0,925	0,551	0,572
Ti 1 мкм	9	0,452	0,569	0,551	0,559

Анализ таблицы 1 показал, что после воздействия тяжелых частиц происходит сильное увеличение коэффициента поглощения солнечного излучения полиалканимида. Наибольшее увеличение коэффициента поглощения солнечного излучения происходит при обработке вольфрамом, он увеличивается на 105 %. А наименьшее воздействие на полиалканимид оказывают частицы железа, увеличение всего на 0,16 %.

Что касается изменения коэффициента теплового излучения, то он изменяется максимум на 6,17 % при воздействии частиц железа.

Таблица 2 – Воздействие тяжелых частиц с композитом, содержащим 30 % наполнителя

Материал набегающих частиц	Скорость частиц, км·с <sup>-1</sup>	As		ε	
		До облучения	После облучения	До облучения	После облучения
Al 0,9 мкм	2	0,159	0,269	0,785	0,791
Cr 0,4 мкм	6	0,159	0,301	0,785	0,801
Fe 0,2 мкм	5	0,159	0,311	0,785	0,789
Ni, 0,8 мкм	7	0,159	0,352	0,785	0,795
Cu 0,3 мкм	3	0,159	0,222	0,785	0,794
Mo 0,3 мкм	3	0,159	0,312	0,785	0,786
W 0,2 мкм	4	0,159	0,376	0,785	0,791
Ti 1 мкм	9	0,159	0,225	0,785	0,792

Анализ таблицы 2 показал сильное увеличение интегрального коэффициента поглощения солнечного излучения (As) композита с содержанием 65 % наполнителя после воздействия различных частиц, имитирующих микрометеоритное воздействие. Коэффициент теплового излучения композита с содержанием 65 % наполнителя изменяется незначительно.

Таблица 3 – Воздействие тяжелых частиц с композитом, содержащим 65 % наполнителя

Материал набегающих частиц	Скорость частиц, км·с <sup>-1</sup>	As		ε	
		До облучения	После облучения	До облучения	После облучения
Al 0,9 мкм	2	0,092	0,132	0,930	0,094
Cr 0,4 мкм	6	0,092	0,142	0,930	0,094
Fe 0,2 мкм	5	0,092	0,112	0,930	0,094
Ni, 0,8 мкм	7	0,092	0,106	0,930	0,094
Cu 0,3 мкм	3	0,092	0,109	0,930	0,095
Mo 0,3 мкм	3	0,092	0,142	0,930	0,094
W 0,2 мкм	4	0,092	0,132	0,930	0,095
Ti 1 мкм	9	0,092	0,121	0,930	0,094

Анализ таблицы 3 показал, что композит с 65 % содержанием наполнителя наиболее устойчив к набегающему воздействию частиц.

Также в работе был проведен эксперимент по облучению материалов сажей, для создания имитации воздействия космической пыли. В таблице 4 представлены данные по повреждению поверхности от частиц, обладающих высокой скоростью и от частиц, обладающих низкой скоростью, а также данные по загрязнению поверхности разработанных композитов от космической пыли и сажи.

Таблица 4 – Данные по площади кратеров, образованных при воздействии частиц на разработанный композит

Содержание наполнителя в композите	Процент повреждения от общей поверхности скола, образованный в результате воздействия частиц с высокой скоростью, %	Процент повреждения от общей поверхности скола, образованный в результате воздействия частиц с низкой скоростью, %	Процент поверхности от загрязнения пылью, %	Процент повреждения от общей поверхности скола, образованный в результате воздействия сажи, %
0	0,76	0,45	8,5	2,1
30	0,55	0,25	8,5	2,1
65	0,23	0,14	8,5	2,1

Худшими результатами по устойчивости к микрометеоритным частицам обладают образцы из чистого полиалканимида, обладающего хрупким поверхностным слоем. В результате обработки полиалканимида микрометеоритными частицами, в нем образовался скол на поверхности, как раз в месте удара частицы о поверхность материала. Получившийся откол имеет границы овала–круга с центром в точке соударения с поверхностью и незначительное повреждение материала, на который был установлен образец чистого полиалканимида, причем радиус образовавшегося откола в несколько раз превышал радиус самой частицы даже при низких скоростях равных 2 км·с<sup>-1</sup>. Область разрушения в проведенных экспериментах составляла порядка 8-10 диаметров частицы. Также отметим, что от образовавшегося скола во все направления расходилось огромное количество микро- и глубоких трещин.

Изменение терморегулирующих характеристик полимерных композитов можно считать прямо пропорциональной полученной площади дефектной поверхности, образовавшейся в результате воздействия микрометеоритных частиц на исследуемые полимерные композиты. Поэтому установлено, что изменение исследуемых в работе оптических (терморегулирующих) свойств полимерных композитов происходит нелинейно и максимально заметно при достаточно низких уровнях деградации поверхностного слоя.

## Литература

1. Павленко В.И. Полимерные радиационно-защитные композиты: Монография / Павленко В.И., Ястребинский Р.Н.—Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009.— 199 с.
2. Павленко В.И. конструкционные композиционные материалы для радиационной защиты / Павленко В. И., Епифановский И. С., Ястребинский Р. Н., Куприева О. В. // Перспективные материалы. — 2010. — № 6. — С. 22-28.
3. Павленко В. И. Высокодисперсные органосиликоновые наполнители полимерных матриц / Павленко В. И., Ястребинская А. В., Павленко З. В., Ястребинский Р. Н. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. — 2010. — № 2. — С. 99-103.
4. Павленко В.И. Полимерные диэлектрические композиты с эффектом активной защиты / Павленко В. И., Ястребинский Р. Н., Ястребинская А. В. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2009. — № 3. — С. 62-66.
5. Павленко В.И. Расчеты процессов прохождения гамма-квантов через полимерный радиационно-защитный композит / Павленко В. И., Липканский В. М., Ястребинский Р.Н. // Инженерно-физический журнал. — 2004. — Т.77, №1. — С.12-15.
6. Павленко В. И. Радиационно-защитный бетон для биологической защиты ядерных реакторов / Павленко В. И., Епифановский И. С., Ястребинский Р. Н. // Перспективные материалы. — 2006. — № 3. — С. 22.
7. Ястребинский Р.Н. Использование нанотрубчатых структур для синтеза радиационно-защитных экранов / Р.Н. Ястребинский, В.И. Павленко, О.В. Демченко // Успехи современного естествознания. 2015. — № 10. — С. 52–55.
8. Использование высокодисперсного оксида алюминия для синтеза радиационно-стойких полимерных композитов / Р.Н. Ястребинский, Ю.М. Самойлова, В.И. Павленко, О.В. Демченко // Успехи современного естествознания. 2015. — № 9-3. С. 532–535.
9. Использование тяжелых металлов при разработке материалов для защиты от корпускулярного излучения / Турова А.А., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. — № 12-7. С. — 1183–1186.
10. Yastrebinskii R.N. Transport packing set for radioactive waste based on a radiation-protective polymeric matrix / R.N. Yastrebinskii, V.I. Pavlenko, G.G. Bondarenko // Inorganic Materials: Applied Research. 2015. Т. 6. № 5. С. 473-478.
11. Павленко В.И. Радиационно-защитный тяжелый бетон на основе железорудного минерального сырья / Павленко В. И., Воронов Д. В., Ястребинский Р. Н. // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2007. — № 4. — С. 40-42.
12. Радиационно-защитный бетон для биологической защиты ядерных реакторов / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, А.А. Смоликов и др.// Перспективные материалы. — 2006. — № 2. — С. 47-50.
13. Павленко В.И. Тяжелый бетон для защиты от ионизирующих излучений / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, Д.В. Воронов // Строительные материалы. — 2007. — № 8. — С. 48-49.
14. Павленко В. И. Исследование тяжелого радиационно-защитного бетона после активации быстрыми нейтронами и гамма-излучением / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, Д.В. Воронов // Инженерно-физический журнал. — 2008. — Т. 81. — № 4. — С. 661-665.
15. Радиационно-защитный бетон для АЭС с РБМК на основе железо-серпентинитовых композиций с цементным связующим / В.И. Павленко, А.А. Смоликов, Р.Н. Ястребинский и др. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2004. — № 8. — С. 66.
16. Pavlenko V.I. Modeling of processes of interaction of high-energy radiations with radiation-protective oxide of iron composites / V.I. Pavlenko, R. N. Yastrebinskij, S. V. Degtyarev // Электромагнитные волны и электронные системы. — 2005. — Т. 10, № 1-2. — С. 46-51.
17. Гасанов С.К. Использование вакуумного ультрафиолета для уменьшения шероховатости поверхности полимерных композитов / С.К. Гасанов, Р.Н. Ястребинский, В.И. Павленко // Успехи современного естествознания. 2015. — № 10. — С. 11-14.
18. Павленко В.И. Захоронение радиоактивных отходов с использованием железорудного минерального сырья / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, З.В. Павленко // Успехи современного естествознания. 2015. № 9-3. С. 511-514.
19. Радиационно-защитные транспортные контейнеры отработавшего ядерного топлива на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья КМА / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, П.В. Матюхин и др. // В сборнике: Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого РФФИ и Правительством Белгородской области. — Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. — С. 320-330.
20. Ястребинская А.В. Разработка и применение композиционного материала на основе эпоксидиановой смолы для строительных конструкций и теплоэнергетики / А.В. Ястребинская, Л.Ю. Огрель // Современные наукоемкие технологии. — 2004. — № 2.— С. 173.
21. Ястребинская А.В. Коррозионностойкие полимеркомпозиты на основе эпоксидных и полиэфирных олигомеров для строительства / А.В. Ястребинская, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский // Перспективы развития строительного комплекса. — 2012. — Т. 1. — С. 243-247.
22. Моделирование прохождения высокоэнергетических электронов в высоконаполненном полимерном композите / И.В. Соколенко, Р.Н. Ястребинский, А.А. Крайний и др. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2013. — №6. — С.145-148.
23. Ястребинский Р.Н. Транспортный упаковочный комплект для радиоактивных отходов на основе радиационно-защитной полимерной матрицы / Р.Н. Ястребинский, Г.Г. Бондаренко, В.И. Павленко // Перспективные материалы. — 2015. — № 6. — С. 25-31.
24. Thermoplastic constructional composite material for radiation protection / V.I. Pavlenko, R.N. Yastrebinskii, O.V. Kuprieva, I.S. Epifanovskii // Inorganic Materials: Applied Research. — 2011. — Т. 2, № 2. — С. 136-141.

25. Pavlenko V.I. Simulation of the processes of gamma-radiation transport through shielding containers for radioactive waste / V.I. Pavlenko, R.N. Yastrebinskii, V.M. Lipkanskii // Russian Physics Journal. – 2003. – Т. 46, №10. – С.1062-1065.
26. Структурообразование металлоолигомерных водных дисперсий/ Р.Н. Ястребинский, В.И. Павленко, А.В. Ястребинская, П.В. Матюхин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 2. – С. 121-123.
27. Конструкционные радиационно-защитные композиционные материалы на основе модифицированных железорудных пород КМА / Р.Н. Ястребинский, В. И. Павленко, П.В. Матюхин и др. // В сборнике: Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого РФФИ и Правительством Белгородской области. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. –С. 491-499.
28. Механическая активация полимерных диэлектрических композиционных материалов в непрерывном режиме / А.В. Ястребинская, В.И. Павленко, П.В. Матюхин, Д.В. Воронов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 3. – С. 74-77.
29. Композиционный материал для защиты от гамма-излучения/ Р.Н. Ястребинский, В.И. Павленко, П.В. Матюхин, Н.А. Четвериков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 17-20.
30. Ястребинская А. В. Модифицированный конструкционный стеклопластик на основе эпоксидных олигомеров для строительных изделий: Автореф. дис. канд. техн. наук. / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород. Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2004. – 19 с.

### References

1. Pavlenko V.I. Polimernye radiacionno-zashhitnye kompozity: Monografiya / Pavlenko V.I., Jastrebinskij R.N.– Belgorod, BGTU im. V.G. Shuhova, 2009.– 199 s.
2. Pavlenko V.I. konstrukcionnye kompozicionnye materialy dlja radiacionnoj zashhity / Pavlenko V. I., Epifanovskij I. S., Jastrebinskij R. N., Kuprieva O. V. // Perspektivnye materialy. – 2010. – № 6. – С. 22-28.
3. Pavlenko V. I. Vysokodispersnye organosvinecsiloksanovye napolniteli polimernyh matric / Pavlenko V. I., Jastrebinskaja A. V., Pavlenko Z. V., Jastrebinskij R. N. // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Serija: Tehniceskie nauki. – 2010. – № 2. – С. 99-103.
4. Pavlenko V.I. Polimernye dijelektricheskie kompozity s jeffektom aktivnoj zashhity / Pavlenko V. I., Jastrebinskij R. N., Jastrebinskaja A. V. // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. – 2009. – № 3. – С. 62-66.
5. Pavlenko V.I. Raschety processov prohozhdenija gamma-kvantov cherez polimernyj radiacionno-zashhitnyj kompozit / Pavlenko V. I., Lipkanskij V. M., Jastrebinskij R.N. // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. – 2004. – Т.77, №1. – С.12-15.
6. Pavlenko V. I. Radiacionno-zashhitnyj beton dlja biologicheskoy zashhity jadernyh reaktorov / Pavlenko V. I., Epifanovskij I. S., Jastrebinskij R. N. // Perspektivnye materialy. – 2006. – № 3. – С. 22.
7. Jastrebinskij R.N. Ispol'zovanie nanotruchatyh struktur dlja sinteza radiacionno-zashhitnyh jekranov / R.N. Jastrebinskij, V.I. Pavlenko, O.V. Demchenko // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2015. – № 10. – С. 52–55.
8. Ispol'zovanie vysokodispersnogo oksida aljuminija dlja sinteza radiacionno-stojkih polimernyh kompozitov / R.N. Jastrebinskij, Ju.M. Samojlova, V.I. Pavlenko, O.V. Demchenko // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2015. – № 9-3. С. 532–535.
9. Ispol'zovanie tjazhelyh metallov pri razrabotke materialov dlja zashhity ot korpuskuljarnogo izlucheniya / Turova A.A., Pavlenko V.I., Jastrebinskij R.N. // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2015. – № 12-7. С. – 1183–1186.
10. Yastrebinskii R.N. Transport packing set for radioactive waste based on a radiation-protective polymeric matrix / R.N. Yastrebinskii, V.I. Pavlenko, G.G. Bondarenko // Inorganic Materials: Applied Research. 2015. Т. 6. № 5. С. 473-478.
11. Pavlenko V.I. Radiacionno-zashhitnyj tjazhelyj beton na osnove zhelezorudnogo mineral'nogo syr'ja / Pavlenko V. I., Voronov D. V., Jastrebinskij R. N. // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. – 2007. – № 4. – С. 40-42.
12. Radiacionno-zashhitnyj beton dlja biologicheskoy zashhity jadernyh reaktorov / V.I. Pavlenko, R.N. Jastrebinskij, A.A. Smolikov i dr.// Perspektivnye materialy. – 2006. – № 2. – С. 47-50.
13. Pavlenko V.I. Tjazhelyj beton dlja zashhity ot ionizirujushhih izluchenij / V.I. Pavlenko, R.N. Jastrebinskij, D.V. Voronov // Stroitel'nye materialy. – 2007. – № 8. – С. 48-49.
14. Pavlenko V. I. Issledovanie tjazhelogo radiacionno-zashhitnogo betona posle aktivacii bystryimi nejtronami i gamma-izlucheniem / V.I. Pavlenko, R.N. Jastrebinskij, D.V. Voronov // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. – 2008. – Т. 81. – № 4. – С. 661-665.
15. Radiacionno-zashhitnyj beton dlja AJeS с RBMK na osnove zhelezo-serpentinitovyh kompozicij s cementnym svjazujushhim / V.I. Pavlenko, A.A. Smolikov, R.N. Jastrebinskij i dr. // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. – 2004. – № 8. – С. 66.
16. Pavlenko V.I. Modeling of processes of interaction of high-energy radiations with radiation-protective oxide of iron composites / V.I. Pavlenko, R. N. Yastrebinskij, S. V. Degtyarev // Jeletromagnitnye volny i jelektronnye sistemy. – 2005. – Т. 10, № 1-2. – С. 46-51.
17. Gasanov S.K. Ispol'zovanie vakuumnogo ul'trafioleta dlja umen'shenija sherohovatosti poverhnosti polimernyh kompozitov / S.K. Gasanov, R.N. Jastrebinskij, V.I. Pavlenko // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2015. – № 10. – С. 11-14.
18. Pavlenko V.I. Zahoronenie radioaktivnyh othodov s ispol'zovaniem zhelezorudnogo mineral'nogo syr'ja / V.I. Pavlenko, R.N. Jastrebinskij, Z.V. Pavlenko // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2015. № 9-3. С. 511-514.
19. Radiacionno-zashhitnye transportnye kontejnery otrabotavshego jadernogo topliva na osnove vysokonapolnennoj polimernoj matricy i zhelezorudnogo syr'ja KMA / V.I. Pavlenko, R.N. Jastrebinskij, P.V. Matjuhin i dr. // V sbornike: Regional'naja nauchno-tehniceskaja konferencija po itogam konkursa orientirovannyh fundamental'nyh issledovanij po



mezhdisciplinarnym temam, provodimogo RFFI i Pravitel'stvom Belgorodskoj oblasti. – Belgorod: BGTU im. V.G. Shuhova, 2015. – S. 320-330.

20. Jastrebinskaja A.V. Razrabotka i primeneniye kompozicionnogo materiala na osnove jepoksidanovoy smoly dlja stroitel'nyh konstrukcij i teplojenergetiki / A.V. Jastrebinskaja, L.Ju. Ogrel' // Sovremennye naukoemkie tehnologii. – 2004. – № 2. – S. 173.

21. Jastrebinskaja A.V. Korrozionnostojkie polimerkompozity na osnove jepoksidnyh i polijefirnyh oligomerov dlja stroitel'stva / A.V. Jastrebinskaja, V.I. Pavlenko, R.N. Jastrebinskij // Perspektivy razvitija stroitel'nogo kompleksa. – 2012. – T. 1. – S. 243-247.

22. Modelirovanie prohozhdenija vysokojenergeticheskikh jelektronov v vysokonapolnennom polimernom kompozite / I.V. Sokolenko, R.N. Jastrebinskij, A.A. Krajnij i dr. // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. – 2013. – №6. – S.145-148.

23. Jastrebinskij R.N. Transportnyj upakovochnyj komplekt dlja radioaktivnyh othodov na osnove radiacionno-zashhitnoj polimernoj matricy / R.N. Jastrebinskij, G.G. Bondarenko, V.I. Pavlenko // Perspektivnye materialy. – 2015. – № 6. – S. 25-31.

24. Thermoplastic constructional composite material for radiation protection / V.I. Pavlenko, R.N. Yastrebinskii, O.V. Kuprieva, I.S. Epifanovskii // Inorganic Materials: Applied Research. – 2011. – T. 2, № 2. – C. 136-141.

25. Pavlenko V.I. Simulation of the processes of gamma-radiation transport through shielding containers for radioactive waste / V.I. Pavlenko, R.N. Yastrebinskii, V.M. Lipkanskii // Russian Physics Journal. – 2003. – T. 46, №10. – C.1062-1065.

26. Strukturnoobrazovanie metallooligomernykh vodnykh dispersij/ R.N. Jastrebinskij, V.I. Pavlenko, A.V. Jastrebinskaja, P.V. Matjuhin // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. – 2012. – № 2. – S. 121-123.

27. Konstrukcionnye radiacionno-zashhitnye kompozicionnye materialy na osnove modifitsirovannykh zhelezorudnykh porod KMA / R.N. Jastrebinskij, V. I. Pavlenko, P.V. Matjuhin i dr. // V sbornike: Regional'naja nauchno-tehnicheskaja konferencija po itogam konkursa orientirovannykh fundamental'nykh issledovanij po mezhdisciplinarnym temam, provodimogo RFFI i Pravitel'stvom Belgorodskoj oblasti. – Belgorod: BGTU im. V.G. Shuhova, 2015. –S. 491-499.

28. Mehanicheskaja aktivacija polimernykh dijelektricheskikh kompozicionnykh materialov v nepreryvnom rezhime / A.V. Jastrebinskaja, V.I. Pavlenko, P.V. Matjuhin, D.V. Voronov // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. – 2009. – № 3. – S. 74-77.

29. Kompozicionnyj material dlja zashhity ot gamma-izluchenija/ R.N. Jastrebinskij, V.I. Pavlenko, P.V. Matjuhin, N.A. Chetverikov // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. – 2011. – № 3. – S. 17-20.

30. Jastrebinskaja A. V. Modifitsirovannyj konstrukcionnyj stekloplastik na osnove jepoksidnykh oligomerov dlja stroitel'nykh izdelij: Avtoref. dis. kand. tehn. nauk. / Belgorodskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet im. V.G. Shuhova. Belgorod. Izd-vo BGTU im. V.G. Shuhova, 2004. – 19 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.034

Шклярский Я.Э.<sup>1</sup>, Соловьев С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Доктор технических наук, профессор,  
Санкт-Петербургский Горный университет;

<sup>2</sup>аспирант,  
Санкт-Петербургский Горный университет

#### СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ ЛЭП ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

*Аннотация*

*Статья описывает факторы, влияющие на эффективность передачи электроэнергии в сетях переменного и постоянного тока и их сравнение между собой. Главным критерием при оценке эффективности ЛЭП являются потери мощности, которые возникают при различных факторах, таких как падение напряжения, потери энергии при емкостных токах утечки и т.д. При использовании ЛЭП на постоянном токе, подобные потери можно свести к минимуму. Для расчета были выбраны линии среднего, высокого и экстра высокого уровня напряжения, напряжением 35 кВ, 220 кВ, 750 кВ соответственно.*

**Ключевые слова:** Постоянный ток, потери мощности, микросеть.

Shklyarskiy Ya.E.<sup>1</sup>, Solovlev S.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering,  
Saint-Petersburg Mining University;

<sup>2</sup>Postgraduate student,  
Saint-Petersburg Mining University

#### ENERGY TRANSMISSION COMPARISON ON THE EXAMPLE OF DC AND AC TRANSMISSION LINES

*Abstract*

*The paper describes factors that have influence on the energy transmission efficiency in AC and DC grids and their comparison. When the efficiency of transmission line is measured the main criteria is the power losses that are appears through the different factors as a voltage drop, capacitive leakage currents, etc. Such losses can be minimized by using DC transmission lines. Medium, high and extra high voltage levels have been chosen for calculating, 35 kV, 220 kV, 750 kV relatively.*

**Keywords:** direct current, power losses, microgrid.

Начиная с XIX века, не прекращается спор на тему эффективности использования постоянного тока и его эффективности в ЛЭП различной мощности по сравнению с переменным током. На сегодняшний день с развитием инфраструктуры и промышленности встает вопрос об электрификации удаленных объектов, таких как строящиеся поселения вблизи от нефтедобывающих месторождений Сибири. С развитием технологий и модернизацией преобразовательной техники стало возможно преобразование электроэнергии с высоким коэффициентом мощности, что позволяет использовать постоянный ток. Однако остается не исследованной степень эффективности такого способа передачи электроэнергии в сравнении с переменным током. Подобные исследования проводились в Лаппеенрантском технологическом университете, однако, длина исследуемых линий не превышала 10 км и рассматривались только низкие уровни напряжения [1,2]. Однако электрификация крупных объектов или населенных пунктов осуществляется на более высоких уровнях напряжения.

Рассматривая достоинства линий постоянного тока, следует также отметить, что такой способ передачи подходит наилучшим образом для возобновляемых источников энергии. Это особенно важно для отдаленных от общей энергосети объектов, для которых важна автономность питающей энергосети. При объединении таких потребителей с обособленной ЛЭП и источником электроэнергии образуется микросеть, которая удовлетворяет требованиям автономности. На данный момент возобновляемые источники энергии, наряду с ТЭЦ, АЭС и ГЭС, получили широкое распространение [3]. Подобные источники электроэнергии являются нестабильными: для ветрогенераторов с синхронными генераторами, которые сейчас имеют наибольшую популярность в мире, характерны отклонения частоты, которая зависит от погодных условий [4]. Для стабилизации используются преобразователи частоты. В случае, когда передача электроэнергии ведется на постоянном токе, потребность в инверторе отпадает [5]. Солнечные батареи являются источником постоянного ЭДС, поэтому могут быть подключены непосредственно к сети [6].

Несмотря на достоинства, которыми обладают линии постоянного тока, остаются не- решенными проблемы защиты, так как кривая напряжения не пересекает ноль и при размыкании контактов образуется перенапряжение. Устройства защиты для линий постоянного тока обладают большими габаритами и стоимостью. Также не решен вопрос стандартизации подобных линий электропередач в России, так как такая технология не имеет широкого распространения. На территории России сети постоянного тока используются только в качестве синхронизирующих вставок между крупными энергосетями. Однако используя выделенную линию для конкретных потребителей, таких как уличное освещение крупного города [7] или питание электроприводов крупных машин, можно добиться высокого уровня эффективности при передаче электроэнергии [8].

Основным достоинством ЛЭП переменного тока является возможность трансформировать уровень напряжения для передачи электроэнергии, за счет чего можно уменьшить потери мощности. Простейшая эквивалентная схема линии переменного тока представлена на рис. 1 [9].

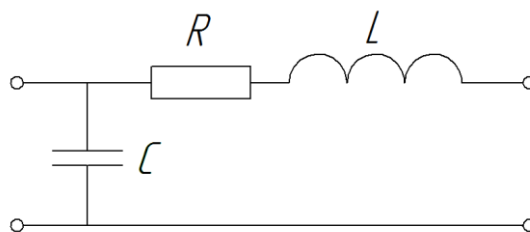


Рис. 1 – Эквивалентная схема линии переменного тока 110 кВ

Схема справедлива только для линий переменного тока невысоких напряжений. Эквивалентная схема учитывает влияние импеданса на потери мощности, включающие в себя активные и реактивные (индуктивные и емкостные) сопротивления. Чем больше расстояние между проводами и меньше диаметр провода, тем больше индуктивное сопротивление линии [10]. В таком случае на падение напряжения влияет импеданс, где емкостью можно пренебречь на уровне напряжения меньше 110 кВ [11].

Для определения потерь в ЛЭП, рассмотрим кабельную линию электропередач с потребителем мощностью 8МВА,  $\cos\varphi=0.9$ . Величина погонного активного и индуктивного сопротивления выбирается по толщине кабеля, которая зависит от тока, проходящего через него. Согласно справочной литературе при токе  $I=118$  А, сечение кабеля составляет  $35 \text{ мм}^2$  с погонными сопротивлениями  $R_n=0.54 \text{ Ом/км}$ ,  $X_n=0.308 \text{ Ом/км}$ . Также индуктивное сопротивление возможно рассчитать по формуле [9]:

$$x = 0.144 \lg \frac{D_{cp}}{r} + \frac{0.0157}{m}, \left[ \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right] \quad (1)$$

$$X = x \cdot l, [\text{Ом}] \quad (2)$$

Где  $D_{cp}$  – среднее расстояние между осями проводов,  $r$  – радиус провода,  $m$  – количество проводов в фазе. При расчетах, сделано допущение, что волновое сопротивление ничтожно мало, по сравнению с погонным сопротивлением линии. Зависимость падения напряжения от длины линии представлена на рисунке 2. График представляет собой линейные функции падения напряжения от протяженности линии. Потери составляют 27% и 35% на отметке 1500 км для линий постоянного и переменного тока соответственно. Так как другие потери на этом уровне напряжения не учитывались, потери мощности при передаче будут пропорциональны падению напряжения. Потери в линии постоянного тока меньше, за счет отсутствия индуктивного сопротивления.

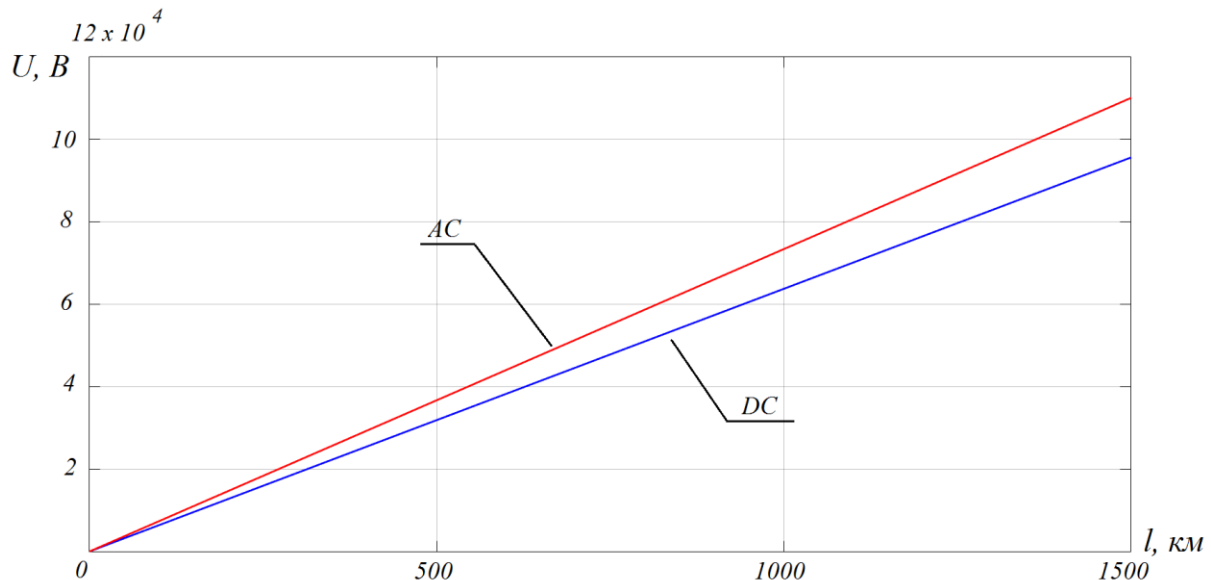


Рис. 2 – Зависимость падения напряжения на линиях постоянного и переменного тока от ее протяженности.  
Напряжение 35 кВ

Рассматривая воздушные линии с уровнем напряжения выше 35 кВ, следует учитывать емкостное сопротивление, которое возникает между фазами линии и землей [12]. Для учета всех потерь используется П-образная схема замещения.

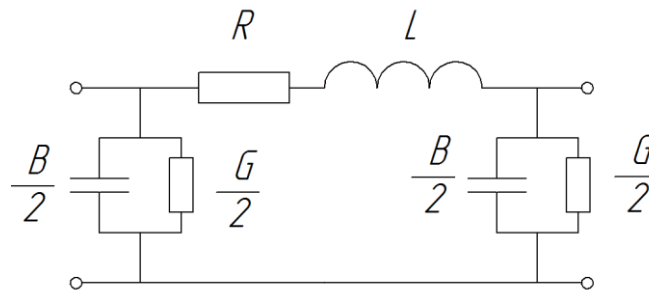


Рис. 3 – Эквивалентная схема линии переменного тока свыше 110 кВ

В такой схеме замещения учтены дополнительные потери. В схеме (рис. 3) также учитываются активная проводимость, которая соответствует потерям на коронарное излучение и зависит от диаметра проводника и расстоянием между осями проводов. В и G – эквивалентные реактивная и активная проводимости всей ЛЭП соответственно. Однако при уровне напряжения меньше 220 кВ, активной проводимостью пренебрегают. Емкостная проводимость воздушной линии B рассчитывается по следующей формуле [9]:

$$b = \frac{7.58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{D_{\text{ср}}}{r}}, \left[ \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right] \quad (3)$$

$$B = b \cdot l \text{ [Ом]}, \quad (4)$$

Где B – эквивалентная реактивная проводимость ЛЭП. Величина проводимости (3) справедлива только для симметричной линии. Емкость провода состоит из множества емкостей и представляет собой в общем случае отношение заряда провода к его потенциалу. Емкостные токи учитываются, начиная с уровня напряжения 110 кВ. Для упрощения, величина емкости считается неизменной. Таким образом, мощность, возникающая при утечке в землю на 1 км линии, рассчитывается следующим образом [9]:

$$Q_c = U^2 \cdot b \left[ \frac{\text{Мвар}}{\text{км}} \right] \quad (5)$$

Для сравнения выбраны алюминиевые жилы воздушной линии и потребитель номинальной мощности 90 МВА,  $\cos \varphi = 0.9$ , что соответствует току  $I = 240$  А. Согласно справочным данным, сечение кабеля составляет  $95 \text{ мм}^2$ , погонные сопротивления будут следующими:  $R_{\text{л}} = 0.34 \text{ Ом/км}$ ,  $X_{\text{л}} = 0.303 \text{ Ом/км}$ , из (2)  $B = 12.1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Ом} \cdot \text{км}$ .

Учитывая, что в линиях постоянного тока потери мощности обуславливаются только падением напряжения на активном сопротивлении, а при переменном токе совокупностью потерь при падении напряжения на активном и реактивном сопротивлениях, а также потерями за счет емкостных токов, были рассчитаны зависимости, которые отражены на следующем графике (рис. 4):

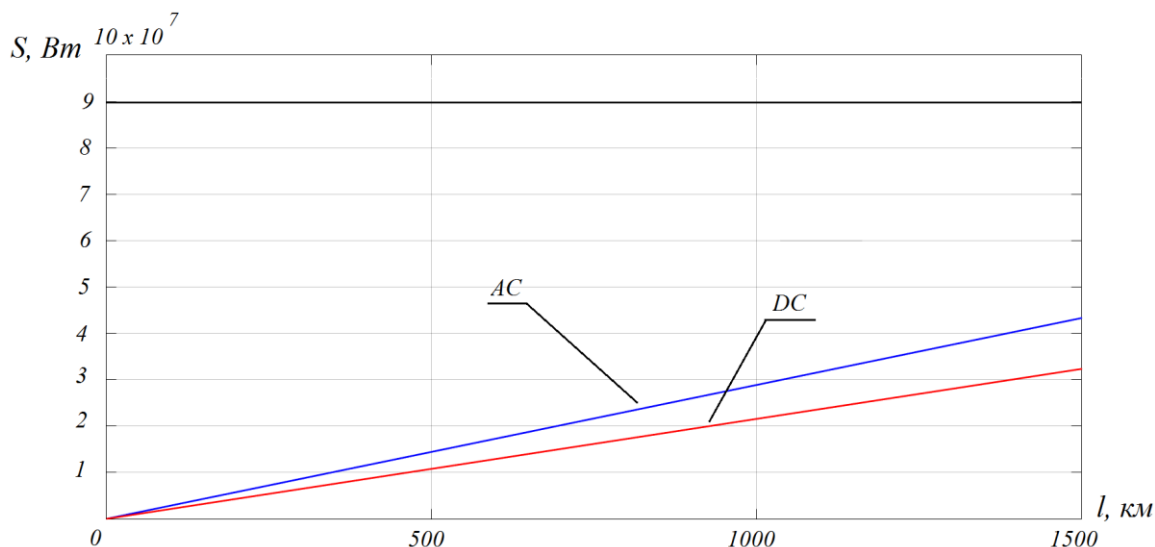


Рис. 4 – Зависимость потери мощности в линии постоянного и переменного тока от её протяженности. Напряжение 220 кВ

Потери при передаче на линии переменного и постоянного тока соответственно составляют 48% и 35,5%, что выражается в разнице 12,5%.

В ЛЭП при  $U_n \geq 330$  кВ провод каждой фазы расщепляется на несколько проводов, что соответствует увеличению эквивалентного радиуса провода. Это приводит к увеличению индуктивности, а соответственно и индуктивного погонного сопротивления, что снижает эффективность линии переменного тока вследствие увеличения падения напряжения. Также на экстремально высоком уровне напряжения учитываются потери на коронарное излучение, что вносит дополнительные потери, в линиях и переменного и постоянного тока [9]. Причина их появления – высокая напряженность электрического поля около проводника, более 17-19 кВ/см. Энергия проводника тратится на ионизацию воздуха вокруг. Активная проводимость  $G$  рассчитывается по следующей формуле:

$$g = \frac{\Delta P \cdot 10^{-3}}{U^2} \left[ \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right] \quad (6)$$

$$G = g \cdot l, [\text{Ом}] \quad (7)$$

Где  $G$  – эквивалентная активная проводимость проводников. Для примера, взята линия напряжением 750 кВ. Передаваемая мощность – 1200 МВА,  $\cos\phi=0.9$ , номинальный ток  $I = 850$  А. В случае с высокими уровнями напряжения, используется несколько проводников для одной фазы. Рекомендуемая конфигурация сети согласно справочной литературе  $8 \times 400\text{мм}^2$  [12], что отражается на индуктивности, и, следовательно, на общих потерях на линии.  $R_n=0.106$  Ом,  $X_n=0.298$  Ом [12]. Зависимость потерь мощности представлена на рис. 5.

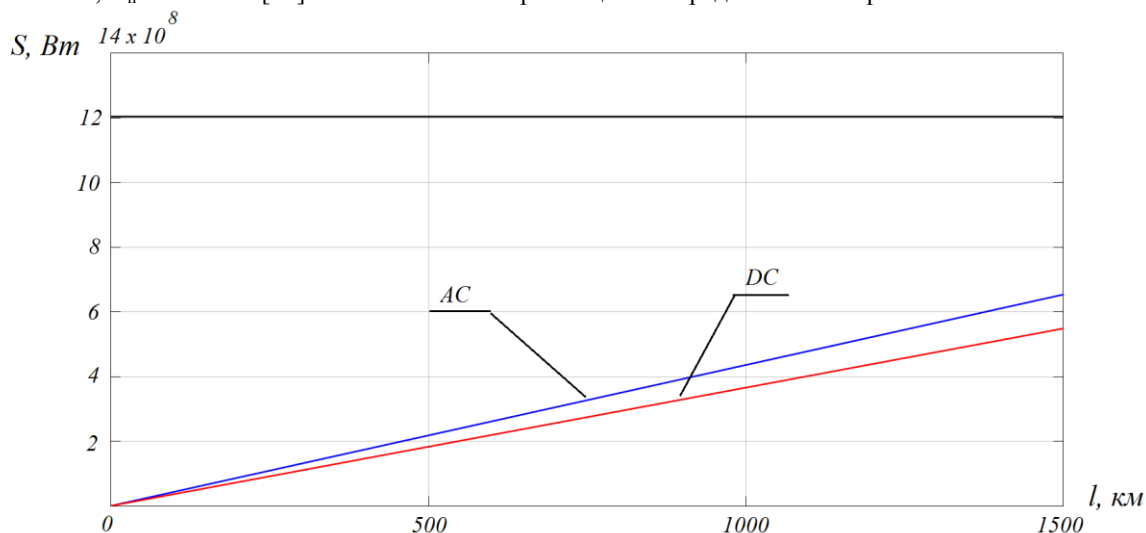


Рис. 5 – Зависимость потерь мощности в линии постоянного и переменного тока от ее протяженности. Напряжение 750 кВ

В приведенном примере величина потерь составляет 53,5% и 40% для переменного и постоянного тока соответственно. На рисунках 4 и 5 черной чертой обозначена номинальная мощность для сравнения с потерями в линиях.

Сравнивая эффективность линий переменного и постоянного тока, стоит учесть, что при протекании переменного тока эффективность линий обуславливается в основном уровнем падения напряжения, так как КПД трансформатора близко к 99%. В линиях постоянного тока преобразование используется полупроводниковая техника, КПД которой ниже, что сокращает разницу эффективности между разными методами передачи электроэнергии. Также

использование линий переменного тока не дает возможности в ближайшем будущем активно внедрять линии на постоянном токе повсеместно.

Разница в величине потерь при использовании различных способов передачи электроэнергии, достигает 12% от общей передаваемой мощности на дальних расстояниях (больше 1500 км), что сказывается на сроках окупаемости и целесообразности объектов. При этом на высоком уровне напряжения разница потерь в линии постоянного тока не превышает 5,3%. Учитывая, что КПД преобразовательной техники стремится к 97%, суммарные потери при переходе к переменному току и наоборот не превышают 8-10%.

Таким образом следует отметить, при учете преобразовательной техники, выгода от передачи электроэнергии при увеличении уровня напряжения, также растет. При условии, что на высоких и экстремально высоких уровнях напряжения каждый процент эффективности выражается в сотнях киловатт мощности, что имеет большое влияние и экономический эффект при использовании подобной ЛЭП.

Тем не менее, следует учитывать стоимость преобразовательной техники при проектировании системы электроснабжения, которая является решающим фактором при выборе способа передачи электроэнергии. Подобные расчеты включают в себя стоимость оборудования, устройств защиты, удельную стоимость воздушной линии, обслуживание и т.д. Дальнейшие исследования в этой области будут направлены на расчет технико-экономических показателей микросетей на основе длинных линий постоянного и переменного тока и их сравнение с учетом долгосрочных перспектив использования.

### Литература

1. «Possibilities of the low voltage DC distribution systems», Lappeenranta university of technology, J. Partanen, T. Kaipia, J. Lassila, P. Salonen.
2. Kaipia T, Lassila L, Salonen P, Partanen J, Brenna M, Tironi E and Ubezio G, Distributed Generation in DC Distribution System. CIRED 2007. Paper 0385.
3. А.М. Суббота, Д.А. Гаевая: «Будущее энергетики – альтернативные источники энергии», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского, 2010 г.
4. Зотин О.Т., В преддверии возрождения постоянного тока. DC Rematch Upcoming // Энергосовет. – 2013. - № 1 (26) . - С.39-42
5. N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins Power Electronics: Converters, Applications, and Design. 3 изд. John Wiley and Sons. Inc, 2011. 802 с.
6. Solar power usage optimization for residential photovoltaic system / Dmitrii Bogdanov/Lappeenranta teknillinen yliopisto, 2013.
7. О.Т. Зотин, Н.О. Морозова Энергоресурсосберегающее управление в наружном освещении. Возможные принципы построения, сравнительная оценка вариантов. СПб, ОАО "НИИ ТМ". 2013.
8. Шклярский Я.Э., Соловьев С.В. Особенности микросети на постоянном токе с использованием ветрогенераторов. Воронеж, ЭТКиСУ 2015 г., №3. С. 50-53.
9. С. С. Ананичева А. Л. Мызин Схемы замещения и установившиеся режимы электрических сетей. Екатеринбург, Россия: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина , 2012. 81 с.
10. Rakosh Das Begamundre Extra High Voltage AC Transmossion Engineering. 3 изд. Kenpur, India: NEW AGE INTERNATIONAL (P) LIMITED, PUBLISHERS, 2006.
11. Н.В.Коровкин, С.В.Ткаченко Уравнения и схема замещения длинной линии с учетом излучения электромагнитной энергии\* // Труды Кольского научного центра РАН. 2012. №3. С. 8-18.
12. Системы передачи электрической энергии [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://bourabai.ru/toe/line.htm> (10.04.2016)

### References

1. «Possibilities of the low voltage DC distribution systems», Lappeenranta university of technology, J. Partanen, T. Kaipia, J. Lassila, P. Salonen.
2. Kaipia T, Lassila L, Salonen P, Partanen J, Brenna M, Tironi E and Ubezio G, Distributed Generation in DC Distribution System. CIRED 2007. Paper 0385.
3. A.M. Subbota, D.A. Gaevaja: «Budushhee jenergetiki – al'ternativnye istochniki jenergii», Nacional'nyj ajerokomicheskij universitet im. N.E. Zhukovskogo, 2010 g
4. Zotin O.T., V preddverii vozrozhdenija postojannogo toka. DC Rematch Upcoming // Jenergosovet. – 2013. - № 1 (26) . - S.39-42
5. N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins Power Electronics: Converters, Applications, and Design. 3 изд. John Wiley and Sons. Inc, 2011. 802 с.
6. Solar power usage optimization for residential photovoltaic system / Dmitrii Bogdanov/Lappeenranta teknillinen yliopisto, 2013.
7. O.T. Zotin, N.O. Morozova Jenergoresursosberegajushhee upravlenie v naruzhnom osveshhenii. Vozmozhnye principy postroenija, sravnitel'naja ocenka variantov. SPb, ОАО "НИИ ТМ". 2013.
8. Shkljarskiy Ya.E., Solov'ev S.V. Osobennosti mikroseti na postojannom toke s ispol'zovanie vetrogeneratorov. Voronezh, JeTKiSU 2015 g., №3. S. 50-53.
9. S. S. Ananicheva A. L. Myzin Shemy zameshhenija i ustanovivshiesja rezhimy jelektricheskikh setej. Ekaterinburg, Rossiya: Ural'skij federal'nyj universitet imeni pervogo Prezidenta Rossii B. N. El'cina , 2012. 81 s.
10. Rakosh Das Begamundre Extra High Voltage AC Transmossion Engineering. 3 изд. Kenpur, India: NEW AGE INTERNATIONAL (P) LIMITED, PUBLISHERS, 2006.

11. N.V.Korovkin, S.V.Tkachenko Uravnenija i shema zameshenija dlinnoj linii s uchetom izluchenija jelectromagnitnoj jenerгии\* // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. 2012. №3. S. 8-18.
12. Sistemy peredachi jelektricheskoy jenerгии [Jelektronnyj resurs] – rezhim dostupa: <http://bourabai.ru/toe/line.htm> (10.04.2016)