Международная Объединенная Академия Наук

НАУКА РОССИИ: ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Сборник научных трудов

**по материалам
XII международной научной конференции**

10 декабря 2018 г.

Часть 1

Екатеринбург 2018

УДК 001.1
ББК 60

НЗ4

Наука России: Цели и задачи. Сборник научных трудов, по материалам XII международной научно-практической конференции 10 декабря 2018 г. Часть 1 Изд. НИЦ «Л-Журнал», 2018. - 52с.

SPLN 001-000001-0373-SR
DOI 10.18411/sr-10-12-2018-1
IDSP sciencerussia-10-12-2018-1

В сборнике научных трудов собраны материалы из различных областей научных знаний. В данном издании приведены все материалы, которые были присланы на XII международную научно-практическую конференцию **Наука России: Цели и задачи**

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

Все материалы, размещенные в сборнике, опубликованы в авторском варианте. Редакция не вносила коррективы в научные статьи. Ответственность за информацию, размещенную в материалах на всеобщее обозрение, несут их авторы.

Информация об опубликованных статьях будет передана в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Электронная версия сборника доступна на сайте научно-издательского центра «Л-Журнал». Сайт центра: science-russia.ru

УДК 001.1
ББК 60

SPLN 001-000001-0373-DR

<http://science-russia.ru>

Содержание

РАЗДЕЛ I. ФИЗИКА.....	5
Гуторов М.А., Кашин В.В., Колесов В.В., Шорохов В.В. Сверхчувствительный зарядовый сенсор для задач одномолекулярного секвенирования	5
Залипаева Л.В., Замышляев В.А., Михайлов П.И., Федорычев А.А., Товпенек М.В. Влияние радиации и гипوماгнитных условий на химические автоколебательные реакции и автоволны.....	22
РАЗДЕЛ II. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	30
Вещева С.А., Афанасьева О.В. Разработка программного комплекса обработки статистической информации.....	30
РАЗДЕЛ III. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ.....	33
Афанасьев П.М., Афанасьев М.П. Анализ тенденций использования природного газа в качестве топлива на буксирах	33
Башкатов А.М., Котиц Д.А., Юрочкина Т.М. Реализации междисциплинарных связей при изучении технических дисциплин на основе САПР	36
Бурнашев А.В. Оценка предельного состояния материала магистральных газопроводов.....	42
Захаров М.А. Оценка пригодности древесины сливы и вишни для выдержки плодовых дистиллятов.....	46
Иванов Г.В., Куранов А.А. Развитие схем автоматического управления технологическими процессами обогащения угля	51
Камчаткина В.М., Горовенко Е.В. Проблемы технического обследования МКД в современных условиях.....	55
Крукович М.Г. Развитие теории, практики и терминологии процесса борирования....	58
Ларин И.С. Активация развития популяции пивных дрожжей низового брожения обработкой светом с длинами волн видимого диапазона	62
Скубак П.Г., Гурин И.В. Применение ЭМГ в реабилитационной робототехнике	66
Смоленцева Т.Е. Анализ поведения параметров, влияющих на функционирование сложных систем.....	70
Смоленцева Т.Е. Применение иерархических структурных моделей для оптимизации распределения задач.....	72

Цалько Т. В., Колесникова О.А., Есипов Ю.В., Черемисин А.И. Идентификация, оценка и управление рисками на предприятиях пищевой промышленности	74
Цгоев Т.Ф., Теблоев Р.А. Создание комплексной энергосистемы для использования в высокогорных малых населенных пунктах в условиях РСО-Алания.....	79
Цгоев Т.Ф., Теблоев Р.А. Состояние и перспективы использование тепловых насосов в регионах России на примере РСО-Алания	84
Шевченко В.А. Методы декомпозиции сложных динамических систем для организации децентрализованного управления	88
Morozova O.O. The mathematical models in the process of organization of the services of search and rescue ensuring flights.....	93

РАЗДЕЛ I. ФИЗИКА

Гуторов М.А., Кашин В.В., Колесов В.В., Шорохов В.В.

Сверхчувствительный зарядовый сенсор
для задач одномолекулярного секвенированияИнновационный Центр «Сколково», ООО «ГАММА-ДНК»
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-01

idsp: sciencerussia-10-12-2018-01

Аннотация

Разработан и на основе современных нанотехнологических методов создан макет планарного молекулярного транзистора на основе одиночной сложной молекулы, исследована физическая модель молекулярного транзистора, содержащего сложную молекулу с единичным зарядовым центром. Создан прецизионный измерительный стенд, с помощью которого исследованы электрофизические параметры макета планарного молекулярного транзистора. Получена вольтамперная характеристика с участком кулоновской блокады, что соответствует режиму одноэлектронного транспорта через туннельную наноструктуру. Такой зарядочувствительный сенсор может эффективно применяться в качестве прецизионного электрометрического сенсора, в том числе в системах одномолекулярного секвенирования, фиксируя факт разделения одной пары зарядов при встраивании полимеразой нуклеотида в полимеризуемый фрагмент нуклеиновой кислоты.

Ключевые слова: одноэлектронный молекулярный транзистор, коррелированный электронный транспорт, нанотехнология, система одномолекулярного секвенирования.

Abstract

In this paper, a model of a planar molecular transistor based on a single complex molecule was developed and based on modern nanotechnology methods; the physical model of a molecular transistor containing a complex single charge center molecule was studied. A precision measuring bench was developed, with the help of which the electrophysical parameters of the planar molecular transistor were investigated. A current-voltage characteristic was obtained with a Coulomb blockade, which corresponds to the mode of single-electron transport through a tunnel nanostructure. Such a charge-sensitive sensor can be effectively used as a precision electrometric sensor, including in systems of single-molecular sequencing, fixing the fact of separation of one pair of charges when nucleotide is inserted into a polymerizable nucleic acid fragment by polymerase.

Keywords: single-electron molecular transistor, correlated electron transport, nanotechnology, single-molecular sequencing system.

1. Введение

Успехи молекулярной биологии обусловлены появлением эффективных методов определения первичной структуры ДНК. Разработка методов клонирования и определения последовательности оснований (секвенирования) нуклеиновых кислот положила начало новому этапу развития молекулярной биологии. Знание первичной структуры участков генома, выполняющих определенные функции, дало возможность эффективно применить для их исследования целый арсенал новых методов генной инженерии. Эти методы позволяют модифицировать участки нуклеотидных последовательностей и исследовать их функции на молекулярном уровне. С их

помощью комбинируются участки генетического материала и создаются геномы с совершенно новыми функциями.

Полное секвенирование генома позволяет определить неизвестные гены и сделать медицинскую терапию максимально эффективной. На основе такого «генетического паспорта» человек имеет возможность скорректировать свой образ жизни, снизить неблагоприятные факторы окружающей среды

Проект по сборке первого человеческого генома, завершённый в 2003 году, занял 13 лет и стоил 3.8 миллиардов долларов. С тех пор цена секвенирования уменьшалась экспоненциально; «закон Мура в генетике» работает даже быстрее, чем обычный, и уменьшает цену каждые два года почти на порядок, так что когда в 2010 году секвенировали геном самого Гордона Мура, это стоило уже всего лишь около \$10 тысяч [1].

Следующее поколение секвенирования (NGS) эффективно преобразовало геномные исследования, снизив стоимость секвенирования [2]. Тем не менее, секвенирование целого генома по-прежнему является дорогим и сложным для целей диагностики. Новые технологии секвенирования обещают научиться обрабатывать геном человека за \$1000 и даже меньше, что открывает возможности для массового секвенирования в медицинских целях.

В настоящее время наиболее перспективным методом является одномолекулярное секвенирование с использованием зарядочувствительных сенсоров. Известно, что в результате встраивания полимеразой каждого комплементарного нуклеотида в полимеризуемый фрагмент ДНК/РНК происходит разделение зарядов [3]: один электрон остается на полимеризуемом фрагменте ДНК/РНК, а один протон выделяется в водный раствор. Сразу после разделения зарядов электрон и ион водорода индуцируют на поверхности электронного сенсора противозаряды одинаковой величины, но противоположного знака, которые практически компенсируют друг друга, пока ион водорода не удалится от места своего образования на некоторое расстояние в результате тепловой диффузии и действия электрического поля, например, со стороны ДЭС, - двойного электрического слоя существующего на границе твердое тело - водный раствор. После чего, на поверхности электронного сенсора остается некомпенсированный противозаряд, индуцированный электроном, результат воздействия, которого на электронный сенсор преобразуется в электрический сигнал и регистрируется схемой усиления и обработки сигнала, как факт разделения зарядов (факт встраивания нуклеотида) и отмечается на выходе схемы, например, логической единицей.

Современные требования к способу секвенирования нуклеиновых кислот заключаются в том, чтобы не применять процедуру амплификации (клонирования) фрагментов ДНК/РНК перед их секвенированием, особенно для целей медицинской диагностики, т.к. данная процедура может вносить искажения в исходную структуру исследуемой нуклеиновой кислоты. Таким образом, сенсор и последующая схема должны регистрировать факт разделения всего одной пары зарядов как результат встраивания полимеразой нуклеотида в один полимеризуемый фрагмент нуклеиновой кислоты, расположенный около сенсора.

2. Физическая модель зарядочувствительного сенсора на основе одноэлектронного транзистора.

2.1. Одноэлектронный транзистор

Применение сверхчувствительных электронных сенсоров на основе одноэлектронных эффектов в задачах молекулярного секвенирования является достаточно перспективным направлением. Кроме очевидного увеличения пространственной плотности элементов на чипе, надо иметь в виду потенциальную возможность использования квантовых эффектов, отсутствующих в классических

электронных устройствах и позволяющих создавать новые измерительные методики, а также способы обработки и передачи информации [4].

Одноэлектроника, как самостоятельное направление в физике, возникла в связи с значительными теоретическими, а затем и экспериментальными исследованиями мезоскопических структур, в которых существенную роль играют процессы, связанные с коррелированным транспортом элементарных зарядов между изолированными проводящими электродами (островами), отделенными друг от друга туннельными барьерами малой прозрачности либо высокоомными резисторами [5].

Физически перенос единичного электрона на изолированный остров приводит к изменению его потенциала и энергии всей системы, если размеры острова и промежуточных туннельных переходов, определяющие его суммарную электрическую емкость C , достаточно малы. При этом сам эффект переноса становится заметным, когда характерная Кулоновская энергия системы, характеризующая это изменение энергии, становится уверенно различимой на фоне тепловых флуктуаций

Одноэлектронным транзистором названа мезоскопическая структура, состоящая из двух сверхмалых последовательно соединенных туннельных переходов, между которыми расположен проводящий остров, соединенный с управляющим электродом (затвором) через нетуннельную емкость C_g (рис.1).

Рисунок 1. Схема одноэлектронного транзистора.

Вольтамперная характеристика этого устройства (рис. 2.а) имеет характерную область кулоновской блокады (сплошная линия) при напряжениях $|V| < V_{\text{off}} = e/C_{\Sigma}$ ($C_{\Sigma} = C_1 + C_2 + C_g$ - полная емкость острова транзистора) и нулевом напряжении на управляющем электроде, когда тунелирование электронов не происходит ввиду энергетической невыгодности такого процесса.

При напряжениях V_g на управляющем электроде, соответствующих $C_g V_g = Q_g = e/2 + ne$ тунелирование возможно при любых V и, в этом случае, вольтамперная характеристика транзистора не имеет блокадного участка (пунктирная линия). В связи с этим зависимость тока транзистора I ($V = \text{const}$) от величины поляризационного заряда Q_g на центральном острове, получившая название модуляционной характеристики, имеет вид периодической функции с периодом по заряду в один электрон e , т.е. $I(Q_0 + e) = I(Q_0)$ (рис. 2.б). Процесс коррелированного тунелирования электронов при напряжениях порядка V_{off} и менее характерен тем, что электроны приходят и уходят с острова транзистора последовательно один за другим. По этой причине транзистор назван одноэлектронным.

Рисунок 2 а)- Вольтамперная характеристика транзистора (сплошная линия- состояние кулоновской блокады; пунктирная- полностью разблокированный транзистор); б)- Модуляционная характеристика одноэлектронного транзистора.

Для того, чтобы одноэлектронные эффекты были хорошо различимы на фоне тепловых и квантовых флуктуаций, характерная электростатическая (Кулоновская) энергия системы ($e^2/2C_\Sigma$) должна значительно превосходить характерную энергию тепловых (kT) и квантовых ($\sim \hbar/\tau$, где $\tau = RC$) флуктуаций, т.е. должны выполняться условия [6]:

$$\frac{e^2}{2C_\Sigma} \gg kT, \quad R \gg R_q = \frac{\pi \hbar}{2e^2} \cong 6.5 \text{ кОм} \quad (1)$$

где R_q - квантовое сопротивление, R – туннельное сопротивление переходов.

Замечательным свойством одноэлектронного транзистора является его весьма высокая чувствительность к изменению заряда на центральном острове. Даже небольшое изменение заряда острова δQ , которое может быть существенно меньше, чем заряд электрона e , приводит к заметному изменению δI тока транзистора (рис. 2б) и может быть зарегистрировано. Это свойство одноэлектронного транзистора позволяет использовать его как уникальный электрометр с субэлектронной чувствительностью [7].

Минимальное значение уровня шума, а следовательно, максимальная чувствительность, достигается при смещающем напряжении V , незначительно превышающем порог кулоновской блокады V_{off} . Кроме того, минимум шума является функцией величины измеряемого заряда Q_x .

Помимо оптимизации параметров транзистора и режимов его работы, получены выражения для оценки максимальной чувствительности одноэлектронного транзистора при учете низкочастотных флуктуаций тока транзистора. В случаях, когда собственная емкость источника сигнала $C_s \rightarrow 0$ (рис. 3),

$$(\delta Q_x)_{\min} \cong \frac{\sqrt{S_I(0)\Delta f}}{(dI/dQ)} \left(1 + \frac{C_s}{C_g}\right), \quad (2)$$

где $S_I(0)$ - спектральная плотность флуктуаций туннельного тока на низких частотах. Ее величина определяется флуктуациями числа туннельных событий в каждом из переходов транзистора.

Рисунок 3. Эквивалентная схема одноэлектронного транзистора с источником измеряемого заряда Q_x , имеющим собственную емкость C_s и емкость связи C_g .

В случае классических шумов результат (2) упрощается когда собственная емкость источника заряда мала, $C_s \rightarrow 0$, а сопротивления и емкости его переходов одинаковы ($C = C_1 = C_2, R = R_1 = R_2$):

$$(\delta Q_x)_{\min} \cong 5.4C\sqrt{kTR\Delta f}, \quad (3)$$

Соотношение (2) принимает простой вид и в случае большой емкости источника сигнала C_s , когда источник заряда удобнее описывать как источник напряжения - $\delta V_x = \delta Q_x / C_s$):

$$(\delta V_x)_{\min} \cong 2.7\sqrt{kTR\Delta f}, \quad (4)$$

где $R = \min(R_1, R_2)$.

Как видно из формул (3) и (4), шумы транзистора уменьшаются с уменьшением температуры и сопротивления переходов, однако при $T \rightarrow 0$ заметную роль начинают играть квантовые флуктуации, не описываемые формулой (2). Оценка абсолютного минимума квантового шума дает:

$$(\delta Q_x)_{\min} \cong \sqrt{\hbar C_\Sigma \Delta f \frac{R_q}{R}} \quad (5)$$

Существует по крайней мере два способа уменьшения квантового шума в одноэлектронном транзисторе. Один из способов- выбор рабочей точки транзистора, близкой к $e/2$, при $V \sim V_t$ (где V_t - модулируемый порог кулоновской блокады), в этом случае вероятность сотуннелирования уменьшается при уменьшении V_t , поэтому вклад квантового шума минимален. (Сотуннелированием называют квантовый процесс перехода электрона с одного внешнего электрода на другой через виртуальное промежуточное и энергетически невыгодное состояние заряженного острова транзистора) [8]. Второй способ- использование сильно несимметричного одноэлектронного транзистора ($R_1 \gg R_2$). Классический шум в транзисторе зависит преимущественно от меньшего из сопротивлений, т.о. увеличение второго сопротивления не существенно. Однако, время сотуннелирования пропорционально $1/R_1 R_2$, и, соответственно, оно уменьшается при увеличении большего из сопротивлений. Отметим, что на одном из склонов модуляционной характеристики

несимметричного транзистора увеличивается значение производной dI/dQ_g , что приводит к увеличению выходного сигнала.

Спектр шума одноэлектронного транзистора имеет ярко выраженную компоненту $1/f$. Экспериментальные значения уровня шума транзисторов планарной геометрии составляют величину $10^{-3} \div 10^{-4} e/\sqrt{\text{Гц}}$ на частоте $f = 10$ Гц. Предельные характеристики одноэлектронных устройств определяются уровнем флуктуаций поляризационного фонового заряда, которые на низких частотах доминируют над их естественными компонентами.

В большинстве случаев избыточный шум в одноэлектронном транзисторе имеет зарядовую природу. Уровень выходного шума в одноэлектронном транзисторе зависит от положения рабочей точки (а именно от коэффициента преобразования dI/dQ_g), причем, при максимуме производной выходной шум максимален. В то же время при пересчете в зарядовые единицы уровень шума оказывается примерно одинаковым для всех рабочих точек. Это указывает на то, что регистрируемый избыточный шум имеет зарядовую природу, т.е. выходной шум является реакцией транзистора на флуктуации зарядов в его непосредственном окружении.

2.2. Молекулярный одноэлектронный транзистор

Основным отличием молекулярного одноэлектронного транзистора от обычного одноэлектронного транзистора является дискретность энергетического спектра электронов центрального острова.

Одноэлектронные устройства на основе одиночных молекулярных биообъектов представляют собой достаточно сложный объект для численного моделирования.

Внешние электромагнитные поля и транспорт электронов приводят как к изменению полного электрического заряда молекулы, так и к изменению пространственного расположения атомов, входящих в её состав. Молекула в процессе переноса может переходить от одного изомера к другому, что соответствует переходу между локальными минимумами полной энергии, связанными с определенной пространственной конфигурацией атомов. Поэтому в рамках модели «молекулой» будем называть устойчивую совокупность атомов с зарядами ядер, локализованных в некоторой области пространства и образующих единый односвязный объект

Размер молекулы, которая выполняет роль центрального острова, должен быть настолько мал, чтобы тепловые флуктуации не препятствовали возникновению эффектов коррелированного туннелирования электронов. Для уверенного использования молекулярных объектов в качестве элементов одноэлектронных устройств при комнатной температуре их максимальный размер не должен превышать 2 нм.

Для линейных молекул их размер прямо пропорционален числу атомов в них $L = dN$, где d - 1.5 - 3 Å, N - число атомов в молекуле. Для полых молекул, с формой близкой к сферической – $L = d\sqrt{N}$. Для плотноупакованных молекул, с формой близкой к сферической – $L = d\sqrt[3]{N}$. Таким образом, число атомов в линейной молекуле не должно превышать порядка 10, для того, чтобы выполнялось условие малости тепловых флуктуаций (1), в полый молекуле с формой близкой к сферической число атомов не должно превышать 100, в плотноупакованной - 1000. Наиболее удобными объектами для создания устройств молекулярной одноэлектроники являются плотноупакованные молекулы [9], поскольку они наиболее устойчивы к воздействию внешних электрических полей и процессам зарядки-разрядки. Дополнительные ограничения, накладываемые на молекулу, определены максимальным зарядом, который можно на ней создать.

Для указанного выше соотношения размеров молекулы и электродов условие малости проводимости туннельных переходов по сравнению с квантовой единицей проводимости выполняется с высокой степенью точности, т.к. расстояние между молекулой и электродами на порядок больше, чем средняя длина химических связей в молекулах.

Для обычного одноэлектронного транзистора [10] можно пренебречь влиянием дискретного энергетического спектра молекулы на туннельный транспорт электронов, поскольку величина, обратная плотности одноэлектронных состояний на уровне Ферми, много меньше кулоновской энергии

$$\Delta\varepsilon = \left(\frac{\partial \mathcal{N}(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} \bigg|_{\varepsilon_F} \right) \ll E_C = \frac{e^2}{2C} \quad (6)$$

где $\Delta\varepsilon$ определяет среднее расстояние между электронными энергетическими уровнями в проводнике.

Для оценки среднего расстояния между электронными энергетическими уровнями острова транзистора можно воспользоваться формулой для удельной объемной плотности состояний $g(\varepsilon)$ электронного газа в проводнике [11]

$$\Delta\varepsilon = \frac{1}{d^3 g(\varepsilon)} = \frac{2\varepsilon_F}{3d^3 \nu_e}, \quad (7)$$

где ν_e - концентрация электронов проводимости, например, для золота эта величина составляет $\nu_e \approx 1.1 \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3}$. Для золотой гранулы с размером $d=10 \text{ нм}$ – $\Delta\varepsilon \sim 0.00006 \text{ эВ}$, для гранулы с размером $d \sim 1 \text{ нм}$ – $\Delta\varepsilon \sim 0.06 \text{ эВ}$. Выражение (7) можно выразить в единицах кулоновской энергии

$$\Delta\varepsilon/E_C \sim \frac{4\varepsilon_F C}{3d^3 e^2 \nu_e} = \frac{16\varepsilon_F \pi \varepsilon_0}{3d^2 e^2 \nu_e} \approx \frac{8 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2}{d^2}. \quad (8)$$

Таким образом, среднее расстояние между энергетическими уровнями становится равным кулоновской энергии проводника только при размерах, сопоставимых с атомными. В то же время, особенности электронного транспорта, связанные с дискретными энергетическими уровнями острова, могут наблюдаться и в объектах с большими размерами. Это связано с тем, что дискретный одноэлектронный энергетический спектр молекул существенно неоднороден.

В случае, когда среднее расстояние между электронными энергетическими уровнями острова транзистора по порядку величины равно кулоновской энергии острова

$$\Delta\varepsilon \sim E_C, \quad (9)$$

ортодоксальная теория коррелированного туннелирования электронов не пригодна для описания электронного транспорта, поскольку в этой теории одним из основных является условие непрерывности энергетического спектра электронов [12].

Рассмотрим молекулярный одноэлектронный транзистор, у которого дискретный энергетический спектр центрального электрода состоит из единственного электронного уровня (рис. 4).

Рисунок 4. Энергетическая диаграмма молекулярного одноэлектронного транзистора дискретный энергетический спектр центрального острова которого содержит единственный энергетический уровень: (а) туннельное напряжение выключено, на диаграмме отмечено положение уровней для двух различных зарядовых состояний (б) туннельное напряжение включено.

Наличие только одного энергетического уровня в молекуле является модельным приближением. В реальной ситуации такая система может возникнуть, лишь если туннелирование через остальные уровни молекулы невозможно по тем или иным причинам. Будем считать, что выбранный энергетический уровень молекулы дважды вырожден по спину, т.е. на него можно "поместить" или из него "забрать" два дополнительных электрона. При этом возможны четыре случая заполнения уровня электронами (рис. 5):

1. В нейтральном зарядовом состоянии на энергетическом уровне в молекуле нет дополнительных электронов. В этом случае дополнительный заряд молекулы может принимать значения: 0, e , $2e$, где e величина отрицательная.

2. В нейтральном зарядовом состоянии молекулы на энергетическом уровне молекулы находится один электрон. В этом случае дополнительный заряд молекулы может принимать значение $-e$, 0, e .

3. В нейтральном зарядовом состоянии молекулы на энергетическом уровне молекулы находятся 2 электрона с противоположно направленными спинами. В этом случае дополнительный заряд молекулы может принимать значение $-2e$, $-e$, 0.

4. В случае, когда время энергетической релаксации электронов в молекуле много меньше времени между отдельными актами туннелирования электронов, эффективное количество заряда на энергетическом уровне может быть дробной величиной от заряда электрона e . В этом случае дополнительный заряд молекулы может принимать значение: n_0e , n_1e , n_2e , где числа n_0 , n_1 , n_2 могут принимать дробные значения. Этот случай в данной модели не рассматривается.

Рисунок 5. Возможные электронные конфигурации нейтрального зарядового состояния в молекуле. Параболами схематично изображено изменение полной энергии молекулы в зависимости от числа электронов в ней.

Выбор конкретной конфигурации заполнения энергетических уровней определяется в каждом конкретном случае. Зарядовое состояние n будем определять по числу дополнительных электронов в молекуле в соответствии со схемой на рис. 5.

Кроме того, будем считать, что для состояния, в котором молекула нейтральна, энергия электронного уровня равна $\varepsilon(0)$, причем известен закон, в соответствии с которым происходит изменение энергии этого уровня при изменении зарядового состояния молекулы $\Delta\varepsilon(n)$ (рис. 4(а)). При заданном туннельном напряжении V_T между правым и левым электродом транзистора положение энергетических уровней Ферми в электродах будем определять с помощью следующих линейных соотношений (рис. 4(б)):

$$\mu_l = \varepsilon(0) + \varepsilon_S + \eta e V_T, \quad (9)$$

$$\mu_r = \varepsilon(0) + \varepsilon_S - (1 - \eta) e V_T \quad (10)$$

где ε_s - дополнительный параметр модели, определяющий взаимное положение энергетического уровня молекулы и уровней Ферми электродов, η - коэффициент деления напряжения в точке, в которой находится молекула. Влияние управляющего электрода транзистора определим как

$$\varepsilon'(0) = \varepsilon(0) + \frac{e Q_G}{C_{eff,G}}, \quad (11)$$

где Q_G - индуцированный управляющим электродом, $C_{eff,G}$ - некоторая эффективная взаимная емкость молекулы и управляющего электрода. Выражение (11) можно использовать в том случае, когда выполнено условие

$$e |\nabla \varphi_G(r)| d \ll \Delta\varepsilon(1), \quad (12)$$

где d - характерный размер молекулы, φ_G - электрический потенциал, созданный управляющим электродом.

Определим темп прихода (ухода) электронов на энергетический уровень в молекуле для левого туннельного перехода в единицу времени как Γ_l , для правого перехода как Γ_r . Будем считать для простоты, что темпы прихода и ухода электронов с (на) энергетический уровень не зависят от приложенного туннельного напряжения, потенциала управляющего электрода и зарядового состояния молекулы. При расчете вольтамперных характеристик и характеристик управления в качестве модельного параметра будем использовать не величину Γ_l или Γ_r , а отношение сопротивления левого туннельного барьера к полному сопротивлению транзистора

$$\gamma = \frac{\Gamma_r}{\Gamma_l + \Gamma_r}. \quad (13)$$

Для удобства анализа полученных в рассматриваемой модели вольтамперных характеристик и характеристик управления будем использовать следующую нормировку: все величины, которые имеют размерность энергии, будем нормировать на величину $\Delta\varepsilon(1)$; величины, имеющие размерность электрического потенциала, на $\Delta\varepsilon(1)/e$.

Все туннельные процессы, которые рассматриваются в рамках данной модели, будем считать упругими, т.к. неявно предполагается, что в туннельных барьерах между молекулой и электродом отсутствуют какие-либо вещества, способные вызвать неупругое туннелирование электронов. Поэтому при туннелировании электрона в одноэлектронном транзисторе полная энергия системы не должна изменяться. При этом под полной энергией подразумевается полная энергия молекулы и

электростатическая энергия электродов. Закон сохранения энергии, например, для туннелирования в молекулу через левый барьер можно записать как

$$E_{l,i} + \varepsilon(0) + \Delta\varepsilon(n) + \eta eV_T = \varepsilon(0) + \varepsilon_p + \Delta\varepsilon(n+1), \quad (14)$$

где E_e - энергия электрона в электроде относительно уровня Ферми. В соответствии с выражением (14) в молекулу через левый переход может протуннелировать только электрон, энергия которого относительно уровня Ферми составляет

$$E_{l,i} = \varepsilon_p + \Delta\varepsilon(n+1) - \Delta\varepsilon(n) - \eta eV_T. \quad (15)$$

Аналогичное выражение можно получить для электрона, туннелирующего через правый переход

$$E_{r,i} = \varepsilon_p + \Delta\varepsilon(n+1) - \Delta\varepsilon(n) + (1-\eta)eV_T. \quad (16)$$

Для туннелирования из молекулы в левый и правый электрод соответственно получаем выражения для энергии электрона в электродах после акта туннелирования:

$$E_{l,f} = \varepsilon_p + \Delta\varepsilon(n) - \Delta\varepsilon(n-1) - \eta eV_T \quad (17)$$

$$E_{r,f} = \varepsilon_p + \Delta\varepsilon(n) - \Delta\varepsilon(n-1) + (1-\eta)eV_T \quad (18)$$

В рассмотренной модели есть в наличии следующие параметры, оперируя которыми можно исследовать свойства вольтамперных характеристик и характеристик управления: коэффициент деления напряжения η , отношение сопротивления левого туннельного перехода к полному туннельному сопротивлению транзистора γ , расстояние ε_s между уровнем энергии в молекуле и химическими потенциалами электродов при нулевом туннельном напряжении, температуру термостата T и индуцированный управляющим электродом дополнительный заряд в молекуле Q_G . Необходимо отметить, что параметры η и γ в реальном молекулярном транзисторе не являются в большинстве случаев независимыми. Например, если коэффициент деления напряжения определяется в транзисторе только положением молекулы относительно туннельных электродов, то сдвиг молекулы в сторону одного или другого электрода кроме изменения η приведет к изменению γ , поскольку изменятся ширины туннельных барьеров между молекулой и электродами. С другой стороны, внесение каких-либо примесей в туннельные переходы может привести к ситуации, когда один из параметров будет соответствовать симметричному транзистору, а другой нет.

На рис. 6 представлены вольтамперные характеристики молекулярного одноэлектронного транзистора, в котором молекула, используемая в качестве центрального острова, имеет всего один электронный энергетический уровень, двукратно вырожденный по спине электрона. Для расчета представленных на рис. 6 вольтамперных характеристик, в качестве зависимости положения энергетического уровня в молекуле была выбрана кулоновская функция

$$\Delta\varepsilon(n) = \frac{n^2 e^2}{C_{eff}}, \quad (19)$$

-где C_{eff} некоторая эффективная емкость, причем значение C_{eff} было исключено из расчета путем нормировки энергетических величин на $\Delta\varepsilon(1)$, туннельного напряжения на $\Delta\varepsilon(n)/e$.

В качестве единицы туннельного тока выбрана величина $\Gamma_l \Gamma_r / (\Gamma_l + \Gamma_r)$, что позволило исключить из расчета значения темпов туннелирования электронов Γ_l и Γ_r .

Рисунок 6. Вольтамперные характеристики молекулярного одноэлектронного транзистора с вырожденным энергетическим уровнем. Для различных электронных конфигураций параболлами схематично изображены значения энергии возможных зарядовых состояний. Вольтамперные характеристики рассчитаны при $\eta=0.5$, $\gamma=0.5$, $\varepsilon_s=0$: (а) ВАХ транзистора у которого в нейтральном зарядовом состоянии находятся 2 электрона на энергетическом уровне, (б) в нейтральном зарядовом состоянии находятся 1 электрон на энергетическом уровне, (в) в нейтральном зарядовом состоянии отсутствуют электроны на энергетическом уровне.

Вольтамперные характеристики, изображенные на рис. 6, имеют характерный вид «кулоновской лестницы». В районе нуля напряжения на всех вольтамперных характеристиках виден участок подавления туннельного тока. Ширина участка подавления туннельного тока по напряжению равна $\Delta\varepsilon(1)/e$. Количество ступенек туннельного тока, их ширина и высота, разные в зависимости от того, сколько электронов находится в нейтральном зарядовом состоянии на энергетическом уровне молекулы. Надо отметить, что количество ступенек на ВАХ, их ширина и высота на рис. 6(а) и рис. 6(в) одинаковы, что определено четностью выбранной функции $\Delta\varepsilon(n)$ относительно n . В случае, если бы функция $\Delta\varepsilon(n)$ не была бы четной относительно n , то этот эффект бы отсутствовал.

На рис. 6 видно, что модуль значения туннельного тока IT по мере увеличения туннельного напряжения VT приближается к насыщению. Значение тока насыщения

рассматриваемого транзистора определено ранее:

$$2e \frac{\Gamma_l \Gamma_r}{\Gamma_l + \Gamma_r}$$

Высота токовых ступенек меньшей высоты на рисунках 6(а) и 6(в) определяется

выражениями:

$$2e \frac{\Gamma_r \Gamma_r}{\Gamma_r + 2\Gamma_r} \text{ и } 2e \frac{\Gamma_r \Gamma_r}{2\Gamma_r + \Gamma_r}$$

для положительных и отрицательных значений VT соответственно.

Появление ступенек на ВАХ, изображенных на рис. 6, вызвано скачкообразным увеличением вероятностей $\sigma(n)$ по мере роста туннельного напряжения VT .

Следовательно, если какие-то зарядовые состояния в молекуле энергетически равноценны, то на ВАХ следует ожидать вырождения соответствующих токовых ступенек, что можно наблюдать на рисунке 6(б), на котором число токовых ступенек в два раза меньше, чем на рисунках 6(а) и 6(в).

Ширина токовых ступенек по напряжению определяется положением энергетического уровня для различных зарядовых состояний. Для четной по n функции $\Delta\varepsilon(n)$ токовая ступенька на ВАХ возникает при $V_T = \Delta\varepsilon(1)/e$. Ступеньки следующего порядка появляются по мере того, как переход в следующие зарядовые состояния становится энергетически выгоден.

Влияние температуры в указанной модели молекулярного одноэлектронного транзистора определяется равновесным распределением электронов в электродах транзистора по энергиям. На рис. 6 изображены серии ВАХ, рассчитанные при значениях модельного параметра $k_B T = 0 \dots 0.1\Delta\varepsilon(1)$. На рисунке видно, что наклон токовых ступенек увеличивается по мере увеличения температуры. Ширина области скачка токовой ступеньки определяется как $k_B T/e$, тангенс угла наклона ступеньки на половине ее высоты определяется как $1/4k_B T$. По мере роста модельной температуры величина блокады туннельного тока по напряжению в районе $V_T=0$ уменьшается.

Таким образом, в этом разделе определены особенности влияния отдельных энергетических уровней на форму транспортных характеристик молекулярного одноэлектронного транзистора. Соответствующая информация необходима при анализе транспортных характеристик молекулярного транзистора, у которого энергетический спектр центрального электрода имеет сложное строение.

3. Разработка макета сенсора на основе одноэлектронного транзистора.

3.1. Создание системы электродов.

Первым этапом изготовления молекулярного одноэлектронного транзистора является создание кремниевого чипа с системой нанoeлектродов с подводящими к ним проводами. В качестве заготовки используется стандартная кремниевая пластина для полупроводникового производства диаметром 75 мм (3 дюйма). Для изоляции наноструктуры от подложки на её поверхность наносится изолирующий слой оксида кремния (SiO_2). Диэлектрик наносился путем магнетронного напыления в установке Leybold Z-400 в смеси газов кислорода и аргона при давлении $3 \cdot 10^{-3}$ и $2 \cdot 10^{-3}$ мбар кислорода и аргона соответственно. При этом на поверхности происходило образование оксида кремния толщиной около 400 нм.

Следующим шагом является формирование электродной структуры методами оптической литографии. Литография представляет собой метод получения определённого рисунка на поверхности материала подложки, является одним из шагов планарной технологии.

Кремниевая пластина с нанесенным изолятором разрезается на квадратные части со стороной 10 мм. Далее на нее наносится методом центрифугирования слой чувствительного к излучению полимерного вещества, называемого фоторезистом. Варьируя параметры времени и скорости вращения центрифуги, можно получать слой фоторезиста различной толщины. Например, при скорости 4000 об/мин и времени вращения 60 секунд получается слой фоторезиста толщиной 200 нм. Затем для полимеризации кремниевая пластина высушивалась при температуре 180°C на протяжении 10 минут. В работе использовался позитивный резист РММА А4, у которого проэкспонированные области хорошо удаляются в растворителе. Выбор РММА в качестве фоторезиста обусловлен его чувствительностью как к ультрафиолетовому облучению, так и электронному-лучевому.

После нанесения фоторезиста кремниевая пластина через фотошаблон облучалась с помощью кварцевой ультрафиолетовой лампы ДРК-120 (рис. 7).

Рисунок 7. Фотошаблон структуры подводящих электродов, формируемой с помощью фотолитографии: (а) - шаблон размером $10 \times 10 \text{ мм}^2$ целиком, содержащий 9 изготавливаемых чипов, (б) - один из чипов размером $3 \times 3 \text{ мм}^2$.

После экспонирования фоторезист удалялся из тех мест, где он был облучен, сформировав «окна» для будущих подводящих электродов. В качестве проявителя применялась смесь изопропилового спирта и воды с отношением 7% и 93% соответственно. Проявка образца в данной смеси проходит при комнатной температуре в течение 50 секунд, после чего образец промывается с помощью изопропилового спирта и сушится при температуре 180°C на протяжении 10 минут.

Затем необходимо проэкспонировать центральную часть чипа, где должна быть сформирована наноструктура. Известно, что оптическая литография не может обеспечить формирование субмикронных структур. [13]. Поэтому экспонирование центральной части чипа осуществляется с помощью электронно-лучевой литографии, которая обеспечивает нанометровую разрешающую способность [14]. Электронно-лучевая литография проводилась в электронном микроскопе ZEISS Supra 40 с литографическим модулем Raith. Экспонирование проводилось при апертуре 7.5 мкм, ускоряющем электроны напряжении 20 кВ, с шагом 2 нм. Общая схема процесса электронно-лучевой литографии показана на рис. 8.

Рисунок 8. Схема процесса литографии от нанесения резиста до формирования финальной структуры.

После экспонирования в электронном микроскопе проводился процесс проявления при тех же параметрах, что и после оптической литографии. Нанесение золота на сформированную структуру проводилось методом термического напыления в установке Leybold L-560 при давлении не выше, чем 10^{-6} мбар. В качестве буферного

слоя для адгезии золота на подложку использовались титан и хром. В результате структура электрода содержала 1 нм буферного слоя и 18 нм золота.

Последний шаг в формировании наноструктуры является удаление лишнего резиста и напыленного материала, лежащего на резисте. Это процедура (lift-off) проводится в ацетоне под воздействием ультразвука. Таким образом, на образце формируется необходимая структура из золотых электродов (рис. 9).

Рисунок 9 - а) система электродов на чипе, б) нанопровод шириной 40 нм и электрод затвора на расстоянии 120 нм.

3.2. Изготовление нанозазора с помощью электромиграции.

Для того, чтобы одноэлектронный транзистор работал при комнатной температуре, необходимо соблюдение условия (1), которое при заданной комнатной температуре удовлетворяется предельно малым значением электрической емкости острова. Для этого необходимо в зазор размером меньше 5 нм поместить частицу или молекулу. Зазор столь малой ширины затруднительно получить методами стандартной электронно-лучевой литографии. Задача изготовления нанозазора решается помощью электромиграции.

Электромиграция- это явление перемещения атомов кристаллической решетки под влиянием протекания по проводу электрического тока большой плотности. Увеличение подвижности атомов вызывает локализацию дефектов кристаллической решетки металла в одном месте, из-за чего на этом участке возрастет плотность тока, то есть процесс имеет лавинообразный характер, который требует своевременной остановки процесса [15].

Ход процесса электромиграции заключается в следующем: на нанопровод, подается ступенчато возрастающее напряжение с шагом 30 мВ. При каждом значении напряжения проводится 100 измерений сопротивления. Если оно отличается больше, чем на определенную долю от изначально измеренного сопротивления, то напряжение обнуляется, а последнее значение запоминается программой. Затем процесс начинается заново. Такой цикл идет до тех пор, пока сопротивление нанопровода не достигнет значения 2 кОм, подобранного эмпирическим путем [16].

Для проведения процесса электромиграции и снятия электрофизических характеристик наноструктуры созданный чип прикреплялся на монтажную плату (чип-холдер) и с помощью установки WEST-BOND методом ультразвуковой микросварки алюминиевым микропроводом диаметром 20 нм контактные площадки чипа соединялись с контактными площадками платы.

Таким образом, с помощью разработанной технологии были сформированы наноструктуры с нанозазорами порядка 3 нм (Рис. 10).

Рисунок 10. Нанозазор, сформированный в процессе электромиграции.

3.3. Встраивание молекул в наноструктуру.

Последней операцией при создании одноэлектронного транзистора является фиксация в нанозазоре молекулы или наночастицы, которая играет роль центрального электрода-острова. В исследуемом макете молекулярного транзистора в качестве проводящего острова применялись молекулы аурофильного производного терпиридина на основе родия (рис. 11), имеющие длину 4 нм, достаточную для того, чтобы замкнуть электроды транзистора. Эти молекулы обладают единственным зарядовым центром в виде одиночного атома родия. Основным технологическим преимуществом этих молекул является наличие на концах аурофильной тиольной группы, обеспечивающих прочную молекулярную связь между такими молекулами и наноэлектродом транзистора, сделанного из золота. Другими словами, молекулы прилипают к золоту, что обеспечивает высокую непосредственную проводимость контакта молекулы с электродами и большую механическую прочность, и стабильность изготовленной системы.

Рисунок 11. Структура молекулы, помещаемой в нанозазор.
Длина молекулы- 4 нм.

Для встраивания молекул в наноструктуру проводилось их осаждение на подложку из раствора диметилформамида (ДМФА) с рабочей концентрацией 10-3

моль/л и затем проводился процесс электромиграции до появления разрыва в нанопроводе. Таким образом, формировался молекулярный интерфейс, состоящий из золотых нанoeлектродов и соединяющей их молекулы.

3.4. Исследование электрофизических параметров одноэлектронного транзистора.

Исследования электрофизических параметров созданных наноструктур проводилось на специально разработанном измерительном стенде. Для уменьшения тепловых флуктуаций тестовые измерения проводились в жидком азоте при $T=77$ К.

Рисунок 12. Вольтамперная характеристика (ВАХ) молекулярного транзистора с участком кулоновской блокады.

Вольтамперная характеристика (зависимость тока через транзистор от туннельного напряжения) созданных молекулярных наноструктур имела характерную для одноэлектронных процессов с коррелированным электронным транспортом нелинейность (кулоновская блокада) (рис. 12). Эта особенность связана с подавлением туннельного тока вблизи нулевого напряжения из-за наличия энергетического барьера, создаваемого одиночным электроном, который находится на электроде-острове молекулярного транзистора.

На вольтамперных характеристиках четко видна область кулоновской блокады порядка 500 мВ. Полученные вольтамперные характеристики подтверждают одноэлектронный характер механизма проводимости молекулярного транзистора и позволяют оценить размер зарядового центра, через который осуществляется туннелирование [17].

Зная суммарную электрическую емкость и считая молекулу сферической получаем:

$$\frac{C_{\Sigma} V_T}{e} = 1 \quad \Rightarrow \quad C_{\Sigma} = \frac{e}{V_T} \approx \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}{0,5 \text{ В}} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Ф}$$

$$\left. \begin{array}{l} 3C_0 = C_{\Sigma}; \\ C_0 = 2\pi\epsilon\epsilon_0 D; \\ \epsilon \approx 1; \end{array} \right\} \rightarrow D = \frac{C_{\Sigma}}{6\pi\epsilon_0} = \frac{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Ф}}{63,148,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}} \approx 2 \text{ нм}$$

Оценка размера зарядового центра оказалась более, чем в 2 раза меньше размера молекулы, поэтому можно сделать предположение о том, что одноэлектронный транспорт в данном молекулярном транзисторе обеспечивается зарядовым центром сложной молекулы на основе одиночного атома металла.

4. Заключение

Таким образом, в работе разработан и на основе современных нанотехнологических методов создан макет планарного молекулярного транзистора на основе одиночной сложной молекулы, исследована физическая модель молекулярного транзистора, содержащего сложную молекулу с единичным зарядовым центром. Создан прецизионный измерительный стенд, с помощью которого исследованы электрофизические параметры макета планарного молекулярного транзистора. Получена вольтамперная характеристика с участком кулоновской блокады, что соответствует режиму одноэлектронного транспорта через туннельную наноструктуру. Такой зарядочувствительный сенсор может эффективно применяться в качестве прецизионного электрометрического сенсора, в том числе в системах одномолекулярного секвенирования, фиксируя факт разделения одной пары зарядов при встраивании полимеразой нуклеотида в полимеризуемый фрагмент нуклеиновой кислоты.

1. <https://biomolecula.ru/articles/ogurtsy-ubiitsy-ili-kak-vstretilis-dzhim-uotson-i-gordon-mur>.
2. G.A. Pavlopoulos, A. Oulas, E. Iacucci, et al. (2013) Unraveling genomic variation from next generation sequencing data. *BioData Mining*, 6:13 doi:10.1186/1756-0381-6-13.
3. Pourmand N., et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2006 Apr 25;103(17):6466-70.
4. International technology roadmap for semiconductors, 2006 edition. <http://www.itrs.net/Links/2006Update/2006UpdateFinal.htm>.
5. Averin D.V., Likharev K.K. Coulomb blockade of single-electron tunneling, and coherent oscillations in small tunnel junctions // *Journal of low temperature physics*, 1986, T. 62, №. 3-4, C. 345-373.
6. Likharev K. K., Claeson T. Single electronics // *Scientific American*. 1992, T. 266, №. 6. C. 80-85.
7. Likharev K.K. Single-electron devices and their applications // *Proceedings of the IEEE*. 1999. T. 87. №. 4. C. 606-632.
8. D.V. Averin and Y.V. Nazarov, "Macroscopic quantum tunneling of charge and cotunneling," in *Single Charge Tunneling*, H. Grabert and M. H. Devoret, Eds. New York: Plenum, 1992, pp. 217–248.
9. Губин, С. П. Химия кластеров / С. П. Губин. М.: Москва: Наука, 1987.
10. Averin, D.V. Single electronics: A correlated transfer of single electrons and Cooper pairs in systems of small tunnel junctions / D.V. Averin, K.K. Likharev // *Mesoscopic Phenomena in Solids* / Ed. by B.L. Altshuler, P.A. Lee, R.A. Webb. - Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo: North-Holland, Elsevier Science Publishers B.V., 1991. Pp. 173–271.
11. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. - Москва: Физматгиз, 1962.
12. J.P. Pekola, O.P. Saira, V.F. Maisi, et al., Single-electron current sources: Towards a refined definition of the ampere, *Reviews of Modern Physics*, 2013, vol. 85, no.4, p. 1421-1432.
13. Boto A.N. et al. Quantum interferometric optical lithography: exploiting entanglement to beat the diffraction limit // *Physical Review Letters*, 2000, T. 85, №. 13, C. 2733.
14. Ma S. et al. Polystyrene negative resist for high-resolution electron beam lithography // *Nanoscale research letters*, 2011, T. 6, №. 1, C. 446.
15. Heersche H.B. et al. In situ imaging of electromigration-induced nanogap formation by transmission electron microscopy // *Applied Physics Letters*, 51 2007, T. 91, №. 7, C. 072107.
16. Dagesyan S.A., Soldatov E.S., Stepanov A.S. Forming extremely small gaps in metal nanowires and studying their properties // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 2014, T. 78, №. 2, C. 139-143.
17. Averin D.V., Likharev K.K. Single electronics: A correlated transfer of single electrons and Cooper pairs in systems of small tunnel junctions // *Mesoscopic phenomena in solids*, 1991, T. 30, C. 173-271.

Залипаева Л.В., Замышляев В.А., Михайлов П.И., Федорычев А.А., Товпенец М.В.
Влияние радиации и гипомангнитных условий на химические автоколебательные реакции и автоволны

*«Средняя общеобразовательная школа № 3 г. Пушкино»
(Россия, Пушкино)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-02

idsp: sciencerussia-10-12-2018-02

Аннотация

Статья содержит аргументы, доказывающие взаимосвязь химических автоколебаний и некоторых процессов в живых организмах, включая человека. В связи с этим, рассматриваемый в статье класс автоколебательных реакций Белоусова-Жаботинского может служить удобной моделью для изучения колебательных и волновых процессов в активных средах. Подвергая внешнему воздействию систему, в которой происходит химическая автоколебательная реакция, можно в какой-то степени прогнозировать результат этого воздействия на биологические системы.

В статье рассматривается механизм реакции Белоусова-Жаботинского, приводятся примеры и других химических автоколебательных реакций. Объясняется, при каких условиях могут распространяться автоволны. Приводятся примеры распространения волн возбуждения (автоволн) в живых организмах.

Рассматривается влияние негативных космических факторов, а именно, радиации и гипомангнитных условий на автоколебательные процессы.

Ключевые слова: автоколебания, автоволны, реакция Белоусова-Жаботинского, радиация, гипомангнитные условия, физика, химия, биология, биологические системы, НИИЯФ МГУ, МГУ, магнитное поле.

Введение

Любители химии, конечно, знают о классе автоколебательных реакций, открытых в 1951 году Борисом Павловичем Белоусовым, а затем изученных и описанных учеными из МГУ под руководством Симона Эльевича Шноля и Анатолия Марковича Жаботинского.

Белоусов открыл первую автоколебательную реакцию, когда пытался найти неорганический аналог цикла Кребса (широко представленного в организмах животных, растений и микробов пути окислительных превращений ди- и трикарбоновых кислот, образующихся в качестве промежуточных продуктов при распаде и синтезе белков, жиров и углеводов). Белоусов неоднократно подчеркивал, что открытая им реакция имеет прямые аналогии с процессами, происходящими в живой клетке [1, 2].

В 1969 году Жаботинский с коллегами обнаружили, что если реагирующую смесь разместить тонким плоским слоем, в нём возникают волны изменения концентрации, т.е. автоволны, которые видны невооружённым глазом в присутствии индикаторов. Жаботинский с сотрудниками провели исследования и доказали, что автоколебания и автоволны существуют не только в химических, но и в биологических системах. Нарушение же распространения автоволн может привести к сбоям функционирования различных органов и систем организма [3, 4].

В наше время одной из главных задач науки является покорение человеком космоса. Но, при дальних космических полетах, как сами космонавты, так и элементы биорегенеративной системы жизнеобеспечения человека будут подвергаться воздействию негативных факторов.

Основным фактором космического пространства, крайне отрицательно действующим на живые системы, является повышенный радиационный фон. В дальних космических полётах он создается галактическими и солнечными космическими

лучами, в которых присутствуют тяжелые заряженные частицы с высокой ионизационной способностью.

Также известно, что в космическом пространстве магнитное поле на 3 – 5 порядков ниже магнитного поля Земли, т.е. там возникают гипوماгнитные условия (ГМУ). Проблема длительного пребывания космонавтов вне привычного геомагнитного поля и воздействия ГМУ на биологические объекты также может оказаться весьма значимой.

Явления, возникающие в ходе химических автоколебательных реакций и автоволн, моделируют многие процессы самоорганизации, происходящие в живых системах, т. е. класс реакций Белоусова-Жаботинского (Б-Ж) может служить удобной моделью для изучения колебательных и волновых процессов в активных средах.

Подвергая внешнему воздействию систему, в которой происходит химическая колебательная реакция, можно моделировать и в какой-то степени прогнозировать результат этого воздействия на биологические системы.

Поэтому изучение влияния радиации и гипوماгнитных условий на химические автоколебательные реакции и автоволны является важной научной задачей.

Химические автоколебания

Реакция Б-Ж, как известно [1], является колебательной реакцией с возбудимой кинетикой (рис. 1).

Рис. 1. Схема реакции Белоусова-Жаботинского

Течение реакции проявляется периодическим изменением цвета раствора от бесцветного (Ce^{3+}) к жёлтому (Ce^{4+}) и обратно. В ней при взаимодействии ионов Ce^{4+} с малоновой кислотой происходит их восстановление (I):

Объяснить это можно так: при взаимодействии ионов Ce^{4+} с кислотой происходит их восстановление. Образующийся в ходе реакции Ce^{3+} должен затем вступить в реакцию с бромат-ионом (II), приводящую к стационарному распределению церия между степенями окисления.

Однако эта реакция относится к автокаталитическим, и в ней самоускоряющемуся протеканию предшествует период индукции. Реакция включается не сразу, и поэтому за время периода индукции практически все ионы Ce^{4+} переходят в Ce^{3+} . Светло-желтая окраска раствора, обусловленная поглощением света в видимой области спектра комплексом Ce^{4+} , исчезает. По завершении периода индукции происходит самоускоряющийся быстрый переход ионов Ce^{3+} в Ce^{4+} , и раствор окрашивается вновь. Другими словами, пока весь Ce^{4+} не перейдет в Ce^{3+} , последний не начинает окисляться. Т.е. реакция какое-то время идет, затем останавливается, затем снова начинается и так продолжается до тех пор, пока не будут израсходованы все исходные реагенты.

Эффект ещё более заметен в присутствии индикатора ферроина. Если вместо ионов церия использовать ионы железа Fe^{2+} , то раствор в колбе может долго, со строгой, как часы, периодичностью изменять цвет во всем видимом диапазоне от рубиново-красного до небесно-голубого.

Но класс автоколебательных реакции не ограничен лишь реакцией Б-Ж. В эту группу входит около 100 реакций. Одна из наиболее "красивых" и наглядных автоколебательных реакций - реакция Бриггса-Раушера.

При взаимодействии пероксида водорода, йодноватой кислоты, сульфата магния (II), серной и малоновой кислот и крахмала возникает колебательная реакция с переходами бесцветный – золотой – синий. При нормальных условиях, такая реакция способна идти на протяжении 0.5-1 часа.

Автоколебания и автоволны в биологических процессах

В 70-е годы Жаботинский с сотрудниками провели исследования открытых ими в 1969 году автоволн [3, 4]. Было доказано, что автоколебания и автоволны существуют не только в химических, но и в биологических системах. Одним из основных механизмов, с помощью которого осуществляется передача сигналов в живом организме, является распространение волн возбуждения, которые связаны с автоколебательными процессами.

Например, волны возбуждения могут распространяться по клеткам скелетной мускулатуры, кишечника, мочевого пузыря, кровеносных сосудов, сердца. В сердце имеется собственная проводящая система, которая обеспечивает его автоматизм – способность непроизвольно сокращаться под действием аутоимпульсов. В организме волны возбуждения обеспечивают электромеханическое сопряжение и координацию сокращений мышечных структур, синхронизацию работы отдельных частей и систем органов, работу двигательного аппарата, осуществляют многие жизненно важные функции. Также одним из наиболее ярких примеров автоволновых процессов в живых системах является распространение нервных импульсов [5].

Нарушение распространения волн возбуждения приводит к нарушениям функционирования различных органов и систем организма, а также к различным серьезным заболеваниям.

Модельные исследования автоволновых процессов реакции Белоусова - Жаботинского внесли важный вклад в изучение возможностей управления автоволновыми процессами в таких жизненно важных органах, как мозг и сердце. Было показано, что с помощью этой реакции можно моделировать большое разнообразие процессов, в том числе формирование спиральных волн. В целом данный подход не должен быть обязательно тесно связан с рассмотрением физической основы систем, но призван отражать общую синергетическую природу их поведения.

Одно из основных приложений исследования источников выше названных спиральных волн в возбудимых средах связано с изучением различных патологий сердечной мышцы. Так нарушение распространения автоволн в сердце может вызывать аритмии, а образование спиральных автоволн — фибрилляцию желудочков, при которой нарушается синхронизация сокращений отдельных мышечных элементов и сердце перестает нагнетать кровь, что приводит к мгновенным летальным исходам.

Медицинские приложения теории автоволновых процессов не ограничиваются фибрилляцией миокарда. Открыты, например, патологические автоволновые процессы, возникающие в нервных сетях коры головного мозга при эпилепсии. Показан автоволновой процесс распространения депрессии в сетчатке глаза и др.

Исследование воздействия радиации на автоколебательные процессы

Ученые из ИМБП совместно с учеными из НИИЯФ МГУ исследовали особенности воздействия на реакцию Б-Ж пучков заряженных частиц с высокой величиной линейной передачи энергии [6, 7]. Такой фактор, в частности, встречается в космическом пространстве.

Для облучения образцов был использован пучок альфа-частиц из 120-см циклотрона НИИЯФ МГУ. В качестве катализатора вместо соединений Ce^{4+} был использован ферроин – комплекс Fe(II) с фенантролином (phen). Выбор этого катализатора объяснялся тем, что ферроин имеет ярко выраженную синюю окраску, меняющуюся на красную при переходе $\text{Fe(II)} \rightarrow \text{Fe(III)}$, что позволяло визуализировать динамику процесса.

Общая схема установки приведена на рис. 2. Пучок альфа-частиц из циклотрона (1) проходил по ионопроводу (4) через квадрупольные линзы (2), отклоняющий магнит (3), защитную стену (5), и далее через систему диафрагм (7) и вакуумный клапан (6) выходил из окна (8) ионопровода на воздух и попадал на рабочую кювету или капилляр (10). В качестве окна на фланце ионопровода использовалась алюминиевая фольга толщиной 50 мкм. В ряде экспериментов пучок коллимировали дополнительной сменной диафрагмой (9). Эта диафрагма крепилась на шток, перемещаемый микродвигателем, что позволяло дистанционно управлять вводом и выводом диафрагмы.

Рис. 2. Схема установки: 1 – циклотрон, 2 – квадрупольные линзы, 3 – отклоняющий магнит, 4 – ионопровод, 5 – защитная стена, 6 – вакуумный клапан, 7 – диафрагмы, 8 – окно ионопровода, 9 – сменная диафрагма, 10 – рабочая кювета или капилляр, 11 – веб-камера.,

Видеосъемка изучаемого процесса осуществлялась при помощи веб-камеры Philips (11) и компьютера, который подключался к ней с помощью трех последовательно соединенных USB-репиторов общей длиной 15 м. Результаты съемки записывались на жесткий диск компьютера в режиме on-line. Затем в режиме off-лайн при помощи программы «захват цвета» цвет в анализируемых точках разлагался на RGB-составляющие. Полученные результаты использовались для количественного анализа автоволновых процессов.

В этих исследованиях впервые было обнаружено возникновение ведущих центров в колебательной реакции типа Б-Ж под воздействием коллимированного излучения с высоким значением линейной передачи энергии. Наблюдалось также полное гашение автоволновых процессов под воздействием тотального облучения реакционного объема. Обнаруженные явления помимо их фундаментального значения могут быть использованы для моделирования процессов радиационного поражения живых систем под воздействием излучения подобного типа.

В следующих подобных исследованиях оценены величины пороговых значений поглощенной дозы для возникновения и полного гашения автоволн, а также впервые предложена модифицированная модель радикалатора, описывающая автоколебания под воздействием ионизирующего излучения. Показано, что эта модель позволяет получать концентрационные зависимости компонентов системы от времени, скорости инициированных и спонтанных волн в реакции БЖ в согласии с экспериментом.

Исследование влияния ГМУ на протекание реакции Белоусова-Жаботинского

В литературе описано немного примеров влияния слабых магнитных полей на автоколебания и автоволны.

В частности, исследовалась зависимость амплитуды автоколебаний от частоты и напряженности магнитного поля [8].

Был установлен факт влияния МП на автоколебательную реакцию Б.-Ж. Показано, что при действии слабых постоянных и переменных магнитных полей изменяются амплитуда колебаний и флуктуации амплитуды.

11 октября 2016 года мы присутствовали в НИИЯФ МГУ при проведении реакции Б.-Ж. и исследовании влияния ГМУ на эту реакцию.

В ходе эксперимента после смешивания нужных реактивов реагирующая смесь размещалась тонким плоским слоем в небольшой кювете. В присутствии катализатора возникали хорошо видимые невооруженным глазом автоволны. Кювета помещалась в трехкомпонентную систему катушек Гельмгольца диаметром 90 см.

Видеосъемка изучаемого процесса осуществлялась при помощи веб-камеры и компьютера, на жесткий диск которого записывались результаты съемки.

Рис. 3. Фотография экспериментальной установки по изучению влияния ГМУ на автоволновой процесс

Сотрудниками МГУ было предложено нашей группе самостоятельно обработать результаты эксперимента и попробовать сделать выводы. Для обработки результатов мы использовали программу Capture. Цвет в анализируемой точке разлагался на RGB-составляющие.

Рис. 4. Начало эксперимента ($t=150$ с)

Во время проведения опыта изменялись условия его проведения, а именно:

$t = 0-152$ с – гипомангнитные условия (ГМУ)

$t = 153 - 640$ с – обычное магнитное поле

$t = 641 - 740$ с – режим юстировки катушек Гельмгольца

$t = 741$ - до конца съемки – гипомангнитные условия.

Рис. 5. Продолжение эксперимента ($t=740$ с)

Для построения и изучения графиков зависимости амплитуды колебаний от времени мы выбрали результаты изменения со временем насыщенности синего цвета в точке регистрации волны (при наличии ферроина в качестве индикатора основными являются синий и малиновый цвета). Рассматривая колебания насыщенности синей составляющей, можно делать выводы о значениях периодов и амплитуд происходивших в реагирующей смеси автоколебаний. На первом графике зависимость амплитуды от времени представлена для 37 полных колебаний. Мы рассчитали среднее значение амплитуды 9-ого – 14-ого колебаний при обычных условиях и среднее значение амплитуды 18-ого – 23-его колебаний при ГМУ. Получилось, что после создания ГМУ среднее значение амплитуды колебаний увеличилось примерно в 1,3 раза.

График 1. Зависимость амплитуды 37 полных колебаний от времени

На втором графике зависимость амплитуды от времени представлена для первых 11 колебаний.

Время двух первых колебаний (при ГМУ) составило примерно 100 с ($T \approx 50$ с), а время двух следующих колебаний (в обычных условиях) примерно 86 с ($T \approx 43$ с).

График 2. Зависимость амплитуды первых 11 полных колебаний от времени

На третьем графике представлена зависимость амплитуды от времени для 12-ого – 22-ого колебаний.

$$T_{12-14} = (640 - 515) : 3 \approx 41,7 \text{ с}$$

$$T_{18-20} = (890 - 760) : 3 \approx 43,3 \text{ с}$$

Средняя амплитуда 18-ого – 20-ого колебаний (при ГМУ) больше средней амплитуды 12-ого – 14-ого колебаний (при обычных условиях) примерно в 1,27 раза.

График 3. Зависимость амплитуды 12 - 22 колебаний от времени

Заключение

В ходе проделанной работы нами сделаны следующие выводы:

1. В работах сотрудников НИИЯФ МГУ доказано воздействие ионизирующего излучения с высокой величиной ЛПЭ на процесс возникновения и гашения автоволн в реакции Белоусова-Жаботинского.

2. Доказано, что при воздействии ГМУ изменяются значения периода и амплитуды колебаний насыщенности цвета в выбранной точке в ходе реакции Белоусова-Жаботинского.

Так как реакция Белоусова-Жаботинского имеет прямые аналогии с процессами, происходящими в живых организмах, мы считаем целесообразным провести одновременные комплексные исследования влияния ГМУ на реакцию Белоусова - Жаботинского совместно с исследованием этого влияния на физиологические показания человека (ЭЭГ, ЭКГ).

Исследование воздействия негативных космических факторов на организм человека является важной, а самое главное актуальной задачей современной науки, так как такое исследование будет иметь огромное прикладное значение и для космонавтики, и для земной магнитобиологии.

Авторы выражают благодарность сотрудникам НИИЯФ МГУ В. М. Лебедеву, А. В. Спасскому и А. Б. Приселковой за сопровождение экспериментальной части работы и проведенные консультации.

1. Б. П. Белоусов. Периодически действующая реакция и ее механизм. М.: «Химия и жизнь», № 7, 1982 г.
2. С. Э. Шноль, Б. Р. Смирнов, Г. И. Задонский, А. Б. Ровинский. Равнодушное перо рецензента. М.: «Химия и жизнь», № 7, 1982 г.
3. А. М. Жаботинский. Периодический ход окисления малоновой кислоты в растворе (Исследование реакции Белоусова). - Биофизика, 1964, т. 9, вып. 3, с. 306-311.
4. А. М. Жаботинский. Концентрационные колебания. М.: «Наука», 1974 г., с. 179.
5. Иваницкий Г. Р., Кринский В. И., Сельков Е. Е. - Математическая биофизика клетки, изд. Наука, 1978.
6. А. В. Спасский, К.А. Труханов, А. Б. Приселкова, В. М. Лебедев. Автоколебания и автоволны в химических системах при воздействии экстремальных условий. Третий съезд биофизиков России, 24-29 июня 2004 г., Воронеж. Тезисы докладов. Том II. с. 318.
7. Лебедев В. М., Приселкова А. Б., Спасский А. В., Труханов К. А. // Перспективные материалы. 2006. № 4. С. 11; // <http://dbserv.sinp.msu.ru:8080/sinp/files/pp-797.pdf>
8. Л. П. Агулова Влияние слабых магнитных полей на агглютинацию брюшнотифозных бактерии (in vitro) и автоколебательную химическую реакцию Белоусова – Жаботинского. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. УДК 576.8.097.34:538.669, Томск – 1985 год.

РАЗДЕЛ II. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Вещева С.А., Афанасьева О.В.

Разработка программного комплекса обработки статистической информации

Санкт-Петербургский горный университет
(Россия, Санкт-Петербург)

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-03

idsp: sciencerussia-10-12-2018-03

Аннотация

В данной статье представлена разработка и создание программного продукта, предназначенного для автоматизации визуализации результатов анализа статистической отчетности и прогнозирования.

Разработанный программный комплекс обеспечивает сортировку информационной базы и представление графиков и вычислений о произведенном анализе статистической информации.

Ключевые слова: автоматизация, программный комплекс, программирование.

Abstract

This article presents software development of a software product intended for automation of the visualization of the statistical reporting and forecasting analysis results.

The developed program complex provides information base sorting, charts and calculations on the statistical data analysis.

Keywords: automation, program complex, programming.

Управление фирмой должно предоставлять только оптимальные решения, во избежание потенциального ущерба.

Автоматизация некоторых процессов на предприятии собой актуальную проблему. Разработка программных продуктов, которые ускорили бы работу компании востребована среди предпринимателей. Внедрение таких приложений в работу некоторых подразделений организации существенно повысит эффективной работы в целом.

Сегодня широко применяется автоматизация тех или иных действий, связанных с работой компании. Это значительно сокращает время затраченное для выполнения некоторых процессов.

При создании приложения была использована система управления базами данных Access корпорации Microsoft. Это широко распространённая СУБД, которая имеет возможность совместимости с программными сервисами Microsoft Office, что значительно увеличивает возможности использования баз данных. Разработка велась при помощи языка программирования object Pascal в среде Embarcadero RAD studio, позволяющая быстро найти ошибки в программе за счет встроенной межплатформенной отладки кода, а также при помощи встроенной библиотеки компонент позволяет легко создать пользовательские интерфейсы.

Таблица 1

Основные особенности программного обеспечения

Microsoft Access	Язык программирования Object Pascal	Среда программирования EmbarcaderoRADstudio
широкая распространённость	быстрый эффективный компилятор	межплатформенная отладка кода
возможность совместной работы с Excel	зрительное построение приложения из программных макетов	встроенная библиотека компонент
все объекты хранятся в одном файле		

Для использования данных в программе в СУБД была создана база данных с таблицами Аналитика, Прогноз, Сезонность и Тренд Модель.

Данные в таблицы загружаются из рабочего файла Excel.

Таблица 2.

Название таблиц в БД Analitica

Analitica			
Analitica	Prognoz	Seasons	TrendModel

Код	date_visit	visits	visitors
650	01.01.2013	1433	
651	01.02.2013	1679	
652	01.03.2013	2122	
653	01.04.2013	2385	
654	01.05.2013	1461	
655	01.06.2013	1344	

Рисунок 1. Структура базы данных

Разработка приложения начинается с создания необходимых модулей. В данном приложении их 10, ниже представлен список:

1. Главная форма (MainForm).
2. Форма отображения данных (ShowData).
3. Форма руководства пользователя (Help).
4. Форма со сведениями о программе (About).
5. Форма отображающая график исходной анализируемой статистики (ChVisitors).
6. Форма отображающая график сезонности данных (ChSeasons).
7. Форма отображающая выбранную для прогнозирования тренд-модель (ChTrend).
8. Рабочий модуль (DM).
9. Форма отображения файла с ходом выполненного анализа данных (Calc).
10. Форма отображения графика результатов прогноза (ChVisits).

В приложении создано меню, которое обеспечивает использование программы. Оно состоит из нескольких пунктов: Данные, Графики, Вычисления, Справка. Каждый Пункт меню имеет свои подпункты, которые представлены на рисунке 2. Выбрав необходимый пункт меню, пользователь попадает на специально отведенную форму.

Рисунок 2. Пункты меню приложения

Рисунок 3. График произведенного анализа данных

Например, форма 10 выводит график результатов прогнозирования. При использовании необходимого компонента и кода, программа принимает на вход два параллельных потока информации и выводит их на графике в виде двух линий. На рисунке 3 представлен график, в котором синей линией обозначены исходные данные, а красной – прогнозные значения.

Также, для удобства создания приложения был использован рабочий модуль, он представлен на Рисунке 4, который включает в себя все необходимые объекты программы. Например, компонент OD(OpenDialog) открывает диалоговое окно, в котором нужно выбрать необходимый файл со статистическим отчетом или результатами анализа.

Рисунок 4. Рабочий модуль

Данный программный комплекс можно использовать для анализа любой статистической информации. Загрузка программы на компьютеры фирмы осуществляется установочным файлом, который был создан при помощи специальной программы создания инсталляторов.

Тем самым, созданное приложение легко использовать на любых компьютерах.

Программа разработана для упрощения работы со статистической информацией. В частности, для более удобного просмотра информационных данных, в приложении есть возможность фильтрации значений по дате (по месяцу и году) и по времени нахождения на сайте. С помощью данной разработки можно загружать в базу данных новый отчет с сайта и строить графики исходной информации, сезонности, тренд-модели и прогнозных значений. Также, приложение позволяет просмотреть файл с произведенными вычислениями и результатами анализа информационной базы.

1. Астахова И.Ф. СУБД: язык SQL в примерах и задачах: учебное пособие для студ. вузов – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007, 52 – 68с.
2. Аникеев С.В. Разработка приложений баз данных в Delphi Самоучитель – М.: Диалог-МИФИ, 2013, 135 -160с.
3. Джеймс Мартин Организация баз данных в вычислительных системах, М, 1978г., 387 – 392с.
4. Бойко В.В., Савинков В.М. Проектирование баз данных информационных систем. – М.: Финансы и статистика, 1989, 252 – 261 с.
5. Гофман В.Э., Хомоненко А.Д. Delphi 5 – СПб:BNV-Петербург, 2001, 338 – 350 с.
6. Гофман, В. Э. Delphi. Быстрый старт – СПб: BNV -Петербург, 2003, 142 – 148 с.

РАЗДЕЛ III. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Афанасьев П.М., Афанасьев М.П.

Анализ тенденций использования природного газа в качестве топлива на буксирах

*ФГБОУ ВО Государственный университет морского и речного флота
Имени адмирала С.О. Макарова
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-04

idsp: sciencerussia-10-12-2018-04

Аннотация

Использование природного газа снижает выбросы оксида азота и серы. Помимо этого, привлекательной остается и его текущая рыночная стоимость, способная конкурировать с тяжелым мазутом. В статье приведены результаты анализа использования сжиженного природного газа в качестве топлива для морских судов.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, топливо, буксир

Abstract

The use of natural gas reduces nitrogen oxide and sulfur emissions. In addition, the current natural gas market value, which can compete with heavy fuel oil, remains attractive. The article presents the results of the analysis of the use of liquefied natural gas as fuel for marine vessels.

Keywords: liquefied natural gas, fuel, tug

Известно, что переход с дизельного топлива на природный газ, позволит решить многие проблемы, касающиеся с выбросов выхлопных газов на судне (включая 25-процентное сокращение выбросов CO₂) [1]. Это обусловлено, в первую очередь, тем, что основной компонент природного газа (ПГ) представляет собой метан, который, в свою очередь, является наиболее эффективным углеводородом при измерении энергетического содержания в отношении содержания углерода. Молекулярная структура природного газа имеет наибольшее количество связей с водородом среди всех углеводородов. По сути, это приводит к самым низким выбросам углерода вовремя энерговыделения. Природный газ бесцветен, не имеет запаха, нетоксичен и легче воздуха.

В двухтопливных двигателях природный газ сгорает с низким уровнем выбросов NO_x из-за концепции обедненного отжига, выбросы серы незначительны, поскольку сера удаляется из топлива в процессе сжижения СПГ. Кроме того, очень низкие выбросы частиц, без видимого дыма или отложений, делают это топливо привлекательным выбором для застроенных территорий, таких как порты. СПГ также может иметь очень конкурентоспособную цену, что делает это топливо очень интересным выбором. Природный газ состоит в основном из метана (CH₄) наряду с незначительными концентрациями более тяжелых углеводородов, таких как этан и пропан. В нормальных условиях окружающей среды природный газ является газом, но его можно сжижать при охлаждении до -162 °C. В жидком виде удельный объем значительно уменьшается, что позволяет использовать разумные габариты резервуаров для хранения по сравнению с энергосодержанием.

История применения газа в качестве судового топлива началась достаточно давно. Ещё в 1930-х годах СССР массово использовало газовое топливо на речных буксирах, так, к 1 января 1941 года, 469 речных судов было оборудовано газогенераторными установками для газификации твёрдых топлив МСВ-84 [2, 3, 4].

Начиная с 1980-х, во многих странах реализовывались проекты по применению природного газа на морских и речных судах с использованием сжиженного природного газа (СПГ). Одним из первых судов на СПГ является грузовое судно Accoladelle дедеветом 8140 т (Австралия, 1982 г.).

Уже в 85 и 88 годах приступили к работе паромы Klatawa и Kulleet (Ванкувер, Канада). ПГ хранился в 50 стальных баллонах с объёмом 14.7 м³ под давлением в 250 атм. В качестве источника газа для этих паромов являлась городская распределительная сеть, газ из которой, сжижился посредством применения трёхступенчатого компрессора.

Морские операторы все чаще обращаются к сжиженному природному газу (СПГ) в качестве топлива для своих судов. По мере роста цен на морское топливо регламентов международных норм на выбросы, в то время, как СПГ даёт владельцам судов возможность использовать чистое и экономичное топливо для удовлетворения их новых экологических и эксплуатационных требований. Основным регулирующим фактором, приводящим к насаждению СПГ в морском секторе, является ужесточение требований Международной морской организации (ИМО) и наложение зон контроля за выбросами (ЕСА), которые часто являются прибрежными районами, где морские суда должны снизить выбросы [5].

Так, для Северной Америки, начиная с 1 августа 2012 года, любое судно, входящее в 200 мильную зону от побережья должно сократить выбросы двуокиси серы до уровня, эквивалентного использованию двигательного топлива, содержащего не более 0,5% серы [6, 7].

Суда, работающие на СПГ, эксплуатируются в Европе с 2001 года. Первыми судами были паромы и оффшорные обслуживающие суда в северной Европе в относительно ограниченном географическом районе, самым же первым судном, работающим на СПГ и не относящимся к газовозам, является паром Glutra (Норвегия, 2000 г.) [8,9].

Важным катализатором развития СПГ судов в Европе является Балтийский и Северный морской район (ЕСА), в котором установлены строгие ограничения на выбросы серы и твердых частиц для международных перевозок, аналогичные Северо-Американскому морскому району (ЕСА) [7].

Владельцы и операторы европейских судов используют СПГ в различных секторах. Норвежское грузовое судно Nøydal, оснащенное двигателями Rolls-Royce Bergen, стало первым морским судном (не танкер) использующим СПГ в качестве единственного топлива для двигателей [10]. Нефтегазовая промышленность использует суда на ПГ, особенно для морских и платформенных судов. На конец 2013 года норвежский Bukser & Berging принял поставку первого в мире специализированного буксира на СПГ – Borgø, который будет работать для норвежской Statoil [12]. Финский паром, Viking Grace, использует СПГ, когда проходит между Турку и Стокгольмом. На 20 марта 2013 года Shell Shipping & Maritime запустила в Нидерландах первую в мире баржу, работающую исключительно на СПГ. Танк-баржа на СПГ, Greenstream, используется для доставки нефтепродуктов клиентам по внутренним водным путям Европы, а именно Рейну и его притокам в Нидерландах, Бельгии, Германии и Швейцарии [7].

Компания Wärtsilä на протяжении длительного времени разрабатывала концепции судов, работающих на СПГ, с целью удовлетворения потребностей владельцев и операторов в использовании судов с меньшим воздействием на окружающую среду. Предлагаемые концепции применимы или даже необходимы в портах, находящихся в непосредственной близости от плотно населенных районов. Буксиры, работающие на СПГ, являются логическим шагом развития для терминалов СПГ с свободно доступным топливом, а также в тех местах, где того требуют экологические нормы выбросов.

Высокая активность Wärtsilä на рынке танкеров СПГ и судов снабжения обуславливает развитие понимания движения судна на сжиженном природном газе,

которое не имеет себе равных, и ставит компанию в лучшем положении, чтобы быть на передовой среди СПГ топливных приложений для всех соответствующих судов.

Разработка двигателя, работающего на СПГ, для буксиров, ставит новые задачи, как в области расположения установки на судне, так и в области устройства двигателя. В настоящее время эксплуатационные характеристики буксиров в отношении изменений требований к нагрузке являются наиболее значимой, но достижимой задачей для двигателей на СПГ. Терминальные и портовые буксиры следует описывать как суда с двумя ролями: в большинстве случаев они работают с известным профилем нагрузки и расписанием, но также иногда они вызываются для аварийной буксировки, пожаротушения или других действий более продолжительной или непредсказуемой длительности. Компактные общие устройства в сочетании с требуемым объемом резервуара для сжиженного природного газа приводят к концепции, которая наиболее эффективно использует СПГ, экологически чистое, дешевоотопливо для обычных задач, сохраняя при этом способность работать на топливе с более высокой плотностью энергии, таким как МДТ, для аварийных операций продолжительной длительности. Двойная топливная способность - лучший ответ на поставленные задачи для судна. Количество операций на терминалах возрастает, отчего требуются буксиры с большей тяговой способностью. В настоящее время используются буксиры, способные нести 100-тонную тяговую нагрузку при операциях на терминалах СПГ.

В 2008 году, на конференции ITS, Wärtsilä представила концепцию гибридного буксира на СПГ для удовлетворения спроса на более экологически безопасные операции буксировки. Концепция представляет собой терминальный буксир, но тот же принцип механизма может быть адаптирован к различным типам буксиров. Буксир оснащен новыми машинами на базе электроприводных двигателей с гибридной силовой установкой, состоящей из батарей и двухтопливных двигателей, работающих, в основном, на СПГ.

В последние годы Wärtsilä уже представила множество новых концепций машин для различных типов судов, использующих СПГ в качестве основного топлива. Знания и опыт, полученные из этих концепций, были использованы при разработке буксира на СПГ.

Первоначальная концепция была представлена для работы на СПГ терминале. Выбор СПГ в таком случае является жизнеспособным из-за открытого доступа к топливу.

На конец 2013 года норвежский Bukser&Berging принял поставку первого в мире специализированного буксира на СПГ –Borgøy, который будет работать для норвежской Statoil [11].

Морские буксиры Borgøy и Boken спроектированы норвежским предприятием BuksérogBerging AS и построены турецкими судостроителями верфи Sanmar. Они официально стали первыми в мире буксирами с газовой силовой установкой. Каждое из буксирных судов имеет два газовых двигателя компании Rolls-RoyceBergen общей мощностью 4600 л.с. при 1000 об/мин. Моторы напрямую связаны с винто-рулевыми Z-образными колонками Rolls-Royce, установленные в корме. Для дополнительного маневрирования буксиры оснащены носовым подруливающим устройством Schottel.

В 2018 году MitsuiO.S.K. Линии (MOL) подписали соглашение о строительстве буксирного судна работающего на СПГ с верфью Канагава. Это первый в Японии СПГ буксир с топливным баком для сжиженного природного газа, установленным на открытой палубе на корме судна. Корабль будет размещен в бухте Осака в апреле 2019 года [12]. Топливо для сжиженного природного газа будет поставляться компанией OsakaGas с использованием системы грузовых кораблей.

На основе статистических данных валового производства СПГ за последние восемь лет, приведённых в итогах конференции «Транспортировка и хранение сжиженных газов 2018», прошедшей в Москве, были построены шесть прогнозных моделей: прогнозная модель в виде линейной функции, степенной, логарифмической, экспоненциальной, гиперболической первого и второго типа. Вычислив их

коэффициенты детерминации, было установлено, что прогноз следует строить на основе степенной функции:

$$\hat{y}_t = 10,11225 \cdot t^{0,50715}$$

Прогнозный объем валового производства СПГ в 2019 году составит не менее 11,4 млн. т.

Таким образом, на данный момент существует не так много реализаций буксиров, работающих на СПГ, и эта технология претерпевает бурное развитие в связи с дальнейшей разработкой гибридных моделей буксиров совместно с использованием СПГ в качестве основного топлива.

1. Dunstan N., Levander O. LNG-Fuelled Tug Concept. ITS 2008. Suntec Convention Centre, Singapore. Day 2, Paper № 6.
2. Газификация твёрдых топлив [Электронный ресурс] // lesopromyshlennik: [сайт]. URL: <http://www.lesopromyshlennik.ru/bioenergia/Gaz1011.html>
3. Костылев И. И., Коняев Д. В. Бункеровка как фактор сдерживания применения газового топлива на судах // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. №5 (39).
4. Пронин Е. Н. Использование сжиженного природного газа на водном транспорте / СПб., 2016. — 48 с.
5. Sulphur oxides (SOx) – Regulation 14. [Электронный ресурс] // International Maritime Organization.: [сайт]. URL: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)—Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)—Regulation-14.aspx)
6. Designation of North American Emission Control Area to Reduce Emissions from Ships [Электронный ресурс] // U.S. Environmental Protection Agency: [сайт]. URL: <http://www.epa.gov/otaq/regs/nonroad/marine/ci/420f10015.pdf>
7. Gladstein, Neandross and associates. LNG Opportunities for Marine and Rail in the Great Lakes, Gulf of Mexico, and Inland Waterways. October 2014.
8. Безюков О.К., Жуков В.А., Яценко О.И. Газомоторное топливо на водном транспорте. // ВЕСТНИК ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА ИМ. АДМИРАЛА С.О. МАКАРОВА, No. 6 (28), 2014. pp. 31-39.
9. Безюков О.К., Жуков В.А., Яценко О. И. Анализ перспективности газопоршневых ДВС. // ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ. 2014. No. 2. pp. 45-51.
10. MS Nøydal – World’s First LNG Powered Ship [Электронный ресурс] // Marine Insight: [сайт]. [November 29 2012]. URL: <http://www.marineinsight.com/marine/marine-news/headline/ms-hoydal-worlds-first-lng-powered-ship/>
11. Piellish, R. “LNGEurope Bunkers the Bokn in Rome.” [Электронный ресурс] // HHPInsight: [сайт]. [May 21, 2014]. URL: <http://hhpinsight.com/marine/2014/05/lng-europe-bunkers-the-bokn-in-rome/>
12. MOL orders LNG-fueled tugboat [Электронный ресурс] // lngworldnews: [сайт]. [2018]. URL: <https://www.lngworldnews.com/mol-orders-lng-fueled-tugboat/>

Башкатов А.М., Котиц Д.А., Юрочкина Т.М.

Реализации междисциплинарных связей при изучении технических дисциплин на основе САПР

*Приднестровский Государственный Университет им. Т.Г. Шевченко
(Молдова, Тирасполь)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-05

idsp: sciencerussia-10-12-2018-05

Аннотация

В данной статье рассматривается использование пакета компьютерных программ в рамках их непрерывного применения для создания модели устройства в учебном процессе с учетом проблем региональной тематики.

Ключевые слова: компьютерные технологии, междисциплинарные связи, капельная схема полива, капельница, пресс-форма, автоматизация процесса.

Abstract

This article discusses the use of a software package in the framework of their continuous use to create a device model in the educational process, taking into account the problems of regional subjects.

Keywords: computer technology, interdisciplinary communication, drip irrigation scheme, dropper, mold, process automation.

В наше время использование компьютерных технологий в образовании сформировалось де-факто, что отражается общими тенденциями информатизации общества и многообразием решаемых задач.

При этом спектр используемых программ больше зависит от профиля подготовки и характеризуется наличием, как учебных версий коммерческого ПО, так и применением свободного программного обеспечения.

В учебном процессе ИТИ активно используют инженерные программы, успешно применяемые в ряде курсов специальных дисциплин [1]. Среди них: CAD-система КОМПАС-3D [3], САЕ-система - АПМ WinMachine [4]; САМ-продукты - САПР ТП Вертикаль [5], ГеММА-3D [6] и др., которые обеспечивают не только подготовку конструкторско-технологической документации и автоматизации расчетных задач в течение семестра, но и служат для оформления курсовых и дипломных работ.

Кроме студентов использование данных программ в ВУЗе позволяет повысить эффективность работы и сотрудников – преподавательского, инженерно-вспомогательного персонала. Этому также способствует и постоянное внимание к проблемам региональной тематики.

Так, в рамках обеспечения рынка продукцией местного растениеводства стал актуален вопрос восстановления оросительной системы.

Касаясь технической стороны, стоит отметить, что в регионе наиболее распространенным и прогрессивным методом остается капельная схема полива [2] (рисунок 1).

Рисунок 1. Капельница [8]

При этом данный вариант характеризуется рядом преимуществ, среди которых можно выделить такие, как:

- 1) экономия воды за счет прямой подачи к корневой системе;
- 2) создание определенных препятствий распространению болезней;
- 3) увеличение жизнестойкости растений и раннему их созреванию;
- 4) автоматизация процесса применения системы полива.

К недостаткам такой схемы, а они тоже есть, следует отнести:

- 1) сложность и в некоторой части дороговизна монтажа;
- 2) частый выход из строя капельниц, вследствие засорения, поломок.

Что, в общих чертах, представляет капельница? Это узел для распыления потока воды, основным крепежным элементом которого служит деталь типа «Накидная гайка», или, другими словами, цилиндрическое тело с внутренней резьбой (рисунок 2).

Рисунок 2 – Накидная гайка капельницы

Эти детали входят и в состав компрессионных соединительных фитингов для монтажа арматуры капельного полива (рисунок 3) и имеют ограниченный ресурс, вследствие поломок резьбы или возникающих трещин в корпусе.

Рисунок 3 - Разновидности компрессионных соединительных фитингов

Частый выход из строя капельниц и накидных гаек-фитингов порождает необходимость создания их запаса. Чтобы продлить сроки эксплуатации, поставлена задача - удешевить процесс изготовления деталей.

Обратимся к технологии. Классически детали такого типа получают методом литья под давлением из полимерных материалов в специальных пресс-формах, что говорит о массовой форме выпуска.

Для оформления внутренней резьбы в отливке используют закладные элементы. Традиционно их заранее устанавливают в пресс-форму (инструмент), а потом извлекают вместе с отливкой. Далее закладной элемент вручную выкручивают из отливки, что увеличивает время, а, следовательно, и стоимость изготовления изделия.

Поэтому была требуется уменьшить время изготовления данной детали («Накидная гайка») максимально сократив применение ручных вспомогательных операций, т.е. заставить пресс-форму работать в автоматическом режиме. Что в итоге должно снизить себестоимость производства данных деталей.

Для автоматизации изготовления капельниц и «гак-фитингов» в инструменте (пресс-форме), предусмотрен механический привод. В его основе используется пара винт-гайка, которая преобразует вращательное в поступательное движение механизма и обеспечивает зубчатое зацепление с исполнительными узлами.

Внешний вид такого устройства представлен на рисунке 4.

Рисунок 4 - Пара винт-гайка исполнительного механизма

Пресс-форма, внешний вид показан на рисунках 5 и 6, работает следующим образом. При ее раскрытии гайка ходового винта, совершая поступательное движение, вращается вместе с ведущим колесом, и приводит в действие шестерни, выполненные совместно с оформляющим внутреннюю резьбу отливки знаком. Таких знаков несколько. При своем вращении резьбовые знаки вывертываются из отливки, а сама отливка, поступательно вращаясь, должна выпадать из гнезда.

При конструировании формы, ходовой винт выполнен диаметром 32 мм, с левой нарезкой и десятью заходами. Гайка ходового винта, представляет комбинированную конструкцию, в которой резьбовая часть получена заливкой баббита. Такой подход объясним технологической экономичностью, но с эксплуатационной стороны – неудачен, поскольку склонен к деформациям и заклиниванию устройства.

Как решение предлагается резьбовую часть изготавливать из менее жесткого материала, например, полиамида. В этом случае соединение не склонно к хрупкости и поломкам, вследствие чего отпадает необходимость в смазке. Стойкость такой винтовой пары повышается, если сравнивать с гайкой, изготовленной из бронзы.

Гайка ходового винта закреплена в самой форме, что позволяет форму устанавливать на любые термопластавтоматы, делая решение универсальным.

Практически, данная задача была реализована на этапе создания модели устройства в рамках непрерывного применения инструментов САПР. В дальнейшем она ориентирована на использование в учебном процессе, при многоэтапной подготовке специалистов по направлению подготовки 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов».

После представления электронной сборки на международный конкурс «Юные Асы 3D-моделирования-2015» студентами III курса ИТИ разработанная модель была анонсирована на ежегодной студенческой научной конференции, где получила должную оценку специалистов.

Рисунок 5 - Внешний вид модели пресс-формы и куст получаемых деталей

На рисунок 5 показаны внешний вид модели пресс-формы (слева) и получаемых в ней деталей (справа). Рисунок 6 показывает вид на пресс-форму после разнесения компонентов.

Рисунок 6 - Пресс-форма в раскрытом состоянии

Рисунок 7 – Структурная схема междисциплинарных связей с применением САПР

Работа над данным проектом включала проведение следующих этапов исследования:

1. Определение геометрических характеристик пары винт-гайка и зубчатого зацепления для оптимального габаритов и расположения узлов пресс-формы. При этом задействована прикладная библиотека КОМПАС – 3D «Валы и механические передачи 3D», с которой студенты познакомились в семестре 5 при изучении дисциплины «Детали машин и основы конструирования».

2. Выбор материала для деталей пресс-формы из М и С (материал и сортament) КОМПАС-3D. Базовые приемы и знания по подбору материалов деталей получены в семестре 3 (учебная дисциплина «Технология конструкционных материалов»), и в 4-5 семестрах (дисциплина «Материаловедение»).
3. Построение в графическом редакторе КОМПАС-3D трехмерной модели устройства с использованием прикладной библиотеки КОМПАС – 3D «Проектирование пресс-форм». Навыки работы с системой приобретены еще в 1-2 семестрах на занятиях по дисциплинам «Инженерная графика» и «Машинная графика» и курсе «Технологическая оснастка» в 9 семестре.

Структурно основные процессы автоматизации решения прикладных задач в ВУЗе может определять схема, приведенная на рисунке 7.

Как видно из рисунка 7 для дальнейшего обучения в рамках работы над проектом предусматривает прохождение нескольких этапов. Использование модели непрерывной САПР предполагает:

1. Ознакомление с производством в ходе учебных практик и формирование списка проблемных тематик.
2. Выполнение прочностного расчета зубчатого зацепления с использованием АПМ WinMachine и оптимизацию конструкции. Практические навыки владения данным программным продуктом студенты получили в ходе изучения дисциплин «Теоретическая механика», «Сопротивление материалов», «Теория механизмов и машин» в 2-3 семестрах.
3. Написание технологии изготовления деталей пресс-формы после изучения дисциплины «Основы проектирования (Технология машиностроения)» в 7 семестре с использованием САПР ТП Вертикаль.
4. Проведение проверки правильности расчета литниковой системы в 8 семестре в КОМПАС-3D пресс-форм (дисциплина «САПР технологических процессов»).
5. Создание программ обработки деталей пресс-форм для станков с ЧПУ в семестре 10 в GeMMa-3D (дисциплина «Автоматизация производственных процессов в машиностроении»).
6. Оценка затрат и проведение последующей оптимизации конструкторско-технологических решений (дисциплины «Организация и планирование производства», «Математическое моделирование») в 10 семестре.

Таким образом, обеспечивается сквозной цикл разработки изделия, где студенты для решения конкретной задачи задействуют арсенал различных средств [7], как при изучении профильных дисциплин, так и предметов междисциплинарного блока.

Развитие и активное внедрение САПР является важной составляющей в подготовке современного инженера. Это обусловлено не только квалификационными требованиями, но и реалиями современного производства. Поэтому образовательные программы, применяемые в ИТИ, да и других ВУЗах, предусматривают получение студентами навыков работы в системах автоматизированного проектирования для создания электронных версий конструкторских и технологических документов.

Не менее важным является и правильность, разумность выбора применяемых инструментов. Адекватность использования систем автоматизации применительно к решаемым задачам является отдельной темой и ждет своего решения.

В заключение следует отметить, что автоматизация не панацея, а лишь одно из средств снижения затрат при технологической подготовке производства и способна обеспечить должный эффект при ее явной необходимости и грамотном, комплексном использовании. Понимание этих правил, как студентами, так и преподавательским

сообществом позволит повысить качество подготовки выпускаемых специалистов в целом.

1. Обзор современных систем автоматизированного проектирования [Электронные данные] / Электронный ресурс – режим доступа: <http://bourabai.ru/graphics/dir.htm>
2. Самополив огорода или капельное орошение (ОТКУДА И КАК ПОЯВИЛАСЬ СИСТЕМА КАПЕЛЬНОГО ПОЛИВА) [Электронные данные] / Электронный ресурс – режим доступа: <http://технология.com.ua/samopoliv-ogoroda-ili-kapelnoe-orooshenie->
3. КОМПАС-3D – инструмент создателя [Электронные данные] / Электронный ресурс – режим доступа: <http://kompas.ru/>
4. Комплексный инженерный анализ конструкций и деталей машин [Электронные данные] / Электронный ресурс – режим доступа: <http://apm.ru/>
5. Система автоматизированного проектирования технологических процессов ВЕРТИКАЛЬ [Электронные данные] / Электронный ресурс – режим доступа: <http://machinery.ascon.ru/software/tasks>
6. Проект ГеММа-3D [Электронные данные] / Электронный ресурс – режим доступа: <http://www.gemma.ru>
7. Колягина О.В. Комплексное использование САПР в инженерном образовании / Первая международная научно-методическая конференция "Применение программных продуктов КОМПАС в высшем образовании". Сборник трудов. – Тула: Изд-во Гриф и Ко, 2005. – С.3- 4. [Электронные данные] / Электронный ресурс – режим доступа: <http://www.ict.edu.ru/ft/005030/kompas.pdf>
8. Какие трубы выбрать для организации полива огорода — советы по выбору от мастеров [Электронные данные] / Электронный ресурс – режим доступа: <http://aqua-rmnt.com/santehnika/snaruzhj/truby-dlya-poliva-ogoroda.html>

Бурнашев А.В.

Оценка предельного состояния материала магистральных газопроводов

*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова
(Россия, Якутск)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-06

idsp: sciencerussia-10-12-2018-06

Аннотация

Предложена методика оценки предельного состояния материала магистрального газопровода после длительной эксплуатации. Методика основана на связи акустических и механических параметров, построении их корреляционной зависимости. Получены предельные значения исследованных характеристик, при которых эксплуатация конструкции становится опасной.

Ключевые слова: ударная вязкость, скорость звука, предельное состояние, длительная эксплуатация, магистральный газопровод.

Введение

На территории Якутии с 70-х гг. эксплуатируется магистральный газопровод Матах–Берге–Якутск, обеспечивающий г. Якутск и близлежащие районы природным газом. Газопровод выполнен подземно-надземным способом, с множеством переходов через ручьи. За время эксплуатации около 50 лет произошло множество аварий разного вида. Из многочисленных наблюдений отказов и аварий сложных технических систем на Севере, известно, что при длительной эксплуатации, значительно ухудшаются механические свойства сталей, снижается пластичность, падает значение ударной вязкости, трещиностойкости [3-9]. Материал теряет сопротивляемость к хрупкому разрушению, важного параметра, для обеспечения прочности и надежности конструкций эксплуатирующихся при низких температурах.

В связи с этим особенную актуальность приобретает проблема оценки предельного состояния металла труб для принятия решения о продлении срока эксплуатации, проведении частичного или капитального ремонта или же о прекращении эксплуатации.

К оценке деградации физико-механических свойств сталей длительно эксплуатируемых магистральных газопроводов в последнее время уделяется много времени. В результатах работ многих авторов, показано, что стандартные механические свойства трубных сталей остаются в рамках допустимых значений даже после весьма длительных сроков эксплуатации с одновременным снижением параметров сопротивления хрупкому разрушению. Поэтому для оценки деградации свойств трубопроводных сталей необходимо выбрать показатели, обеспечивающие наибольшую чувствительность к эксплуатационному изменению состояния металла.

Известно, что скорость распространения звука в сталях и ударная вязкость зависят от их структуры и свойств. В этой связи, эти параметры можно применять как одни из информативных характеристик для оценки изменений структуры в процессе длительной эксплуатации.

Выбор материала для проведения исследований скорости звука имеет одно из важнейших значений, от которого зависит подлинность и достоверность результатов измерений. Большую роль играет вид прокатки сталей. До 1970-х годов при строительстве магистральных газопроводов использовались горячекатаные и нормализованные стали. Из-за анизотропии свойств структуры стали разного вида проката, распространение звуковых волн и их поглощение зернами, межзеренными границами, а также из-за влияния внутренних микронапряжений будет иметь существенное отличие, которое, вследствие чего, создает трудности в обнаружении различных эффектов.

Материалы и методика эксперимента.

Скорость звука измеряли с помощью автоциркуляционного прибора для измерения скорости акустических волн «ИСАВ-1» производства Ижевского государственного технического университета. Данный прибор позволяет измерять скорости поверхностных волн с погрешностью до 0,01%. Датчики раздельного типа, излучатель и приемник закреплены в одну базу с постоянным расстоянием 70,3 мм, частота ультразвука ~2,5 МГц. Подробные характеристики и принцип работы данного прибора были рассмотрены в работе [2]. Измерения проводились на сегментах труб, исследуемого газопровода, по всей поверхности.

В целях избегания не достоверных результатов, во всех экспериментах нами использовались образцы из труб одного производителя и одного типа прокатки. Это нормализованная сталь марки 09Г2С, производства Ждановского металлургического завода им. Ильича в различных ее состояниях: аварийный запас, после эксплуатации 50 лет, после эксплуатации 50 лет с дополнительным термодформационным старением. Термодформационное старение проводили с целью получения набора структурных состояний с разными значениями ударной вязкости и скорости звука для данного материала. Процесс старения представляет собой пластическую деформацию стандартных плоских образцов на $\varepsilon=6\%$ и последующий отжиг при температуре 650 °С с охлаждением в печи. Образцы вырезались в виде сегментов размерами 200x250x8мм и шероховатостью не более Rz20. Для случая образцов с термодформационным старением, образцы имели размеры соответствующие плоским образцам. Стоит отметить, что из этих же сегментов, позже, были изготовлены образцы на ударный изгиб, результаты которых показывали снижение значений ударной вязкости при протекании деградационных процессов (рис.1) и подробно представлены в работе [1].

Рис. 1. Зависимость ударной вязкости от различных состояний:
1– аварийный запас; 2–после 50 летней эксплуатации;
3–после термодеформационного старения [1].

Основные результаты и их обсуждение.

Исследование скорости звука показало отличие значений скоростей акустических волн от различных состояний. Измерения проводили вдоль образующей трубы, в количестве тридцати измерений на каждый образец. На рис.2 приведена зависимость скорости звука от времени эксплуатации и старения материала. Испытания проведены при температуре +20 0С.

V , м/с

Рис. 2. Зависимость скорости звука от различных состояний:
1– аварийный запас; 2–после 50 летней эксплуатации;
3–после термодеформационного старения.

Как видно из гистограмм, в процессе длительной эксплуатации материала наблюдается уменьшение скорости звука, которое мы связываем со структурными изменениями в результате протекания деградационных процессов.

Анализируя результаты испытаний на ударный изгиб и акустических измерений, естественно предположить, что изменения величин и характеры разрушения связаны с изменениями структуры материала в процессе длительной эксплуатации. Основываясь на экспериментальные результаты и на работы других авторов [2-5], нами построена корреляционная зависимость $KCV(V)$ (Рис. 3).

Рис. 3. Корреляционная зависимость ударной вязкости и скорости звука и их предельные значения

К участкам с высокой ударной вязкостью и скорости звука соответствует структура трубы аварийного запаса, которая имеет равновесную структуру. К участкам с низкими значениями исследуемых величин соответствуют материалы труб после эксплуатации и после дополнительного искусственного термомодеформационного старения. Разницу значений данных величин, мы связываем с анизотропией структуры материала, в результате деградации при длительной эксплуатации и искусственного старения.

Как видно из рисунка, имеет место не только совпадение максимумов, но и достаточно хорошая корреляция кривых. Подобие кривых сводится к линейным зависимостям $KCV(V)$.

Полученная корреляционная зависимость была применена для оценки предельного состояния материала конструкции. За предельное состояние принимается значение ударной вязкости, которое меньше или равно нормативной величине указанной в технических условиях по изготовлению труб для магистральных газопроводов или в строительных нормах и правилах, а также по визуальному осмотру поверхности разрушения, в случае, когда в образце обнаруживается 100%-й кристаллический излом. Из корреляционной зависимости определяется предельное значение скорости звука, соответствующее предельному значению ударной вязкости.

Заштрихованная область на рисунке 3 соответствует предельным значениям исследуемых параметров, таким образом, при попадании в данную зону значений исследуемых параметров, судят, что материал достиг своего предельного состояния.

Выводы.

1. Исследование скорости звука в сталях МГ показало, что скорость звука является структурно чувствительным параметром, и ее применение целесообразно для оценки структурных изменений материала.

2. Получены предельные значения ударной вязкости и скорости акустических волн, при достижении которых эксплуатация магистральных газопроводов становится опасной.

3. Предложен метод оценки предельного состояния МГ на основе определения значений ударной вязкости магистральных газопроводов, не вырезая образцов, и корреляции полученных значений со скоростью распространения ультразвуковых волн. Применение предлагаемого способа позволяет повысить оперативность сбора информации о конструктивной надежности, снизить трудоемкость

диагностирования остаточного ресурса и значительно снизить материальные затраты на ведение планово-предупредительных ремонтов трубопроводов и других конструкций.

1. Большаков А.М., Бурнашев А.В. Исследование ударной вязкости стали магистрального газопровода после длительной эксплуатации в условиях Крайнего Севера // Деформация и разрушение материалов. 2018. №8. С.43-45.
2. Куликова О.А. Разработка методики ультразвукового контроля ударной вязкости горячекатаной листовой стали. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск, 2000. 109 с.
3. Сыромятникова А.С., Алексеев А.А., Левин А.И., Лыглаев А.В., Большаков А.М. Механизмы разрушения полимерного материала при распространении и ветвлении трещин // Деформация и разрушение материалов. 2008. № 2. С. 33-39.
4. Большаков А.М., Андреев Я.М. Характер дефектов и виды отказов резервуаров, работающих в условиях Севера // Газовая промышленность. –2012. –№ 3 (674). –С.90-91.
5. Большаков А.М., Захарова М.И. Определение возможных сценариев возникновения, развития и вероятности реализации аварийных ситуаций на резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов при низких температурах эксплуатации // Проблемы анализа риска. 2012. Т. 9. № 3. С. 22-33.
6. Абросимов Н.В., Акимов В.А., Аладинский В.В., Алешин Н.П., Аронов В.В., Асмолов В.Г., Ахметханов Р.С., Бакиров М.Б., Бармин И.В., Барышов С.Н., Пермяков В.Н., Кузеев И.Р., Беляев И.И., Большаков А.М., Власов С.В., Гаденин М.М., Гражданкин А.И., Драгунов, Ю.Г., Дубинин Е.Ф., Европин С.В. и др. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Управление ресурсом эксплуатации высокорисковых объектов // Тематический блок «Национальная безопасность» / Редактор Махутов Н.А.. Москва, 2015. Том Управление ресурсом эксплуатации высокорисковых объектов.
7. Абрахин С.И., Абросимов Н.В., Агеев А.И., Адушкин В.В., Акимов В.А., Алешин Н.П., Антоновская Г.Н., Артамонов В.С., Асмолов В.Г., Байда С.Е., Баранов В.В., Басанский Е.Г., Белов П.Г., Белолипецкий В.М., Беляев И.И., Берман А.Ф., Большаков А.М., Большов Л.А., Бурдаков Н.И., Бурова В.Н. и др. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Системные исследования чрезвычайных ситуаций // Тематический блок "Национальная безопасность" / Москва, 2015. Том Системные исследования чрезвычайных ситуаций
8. Капитонова Т.А., Слепцов О.И., Лебедев М.П., Стручкова Г.П. Проблемы обеспечения техногенной безопасности РС(Я) // В сборнике: Труды VI Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата EURASTRENCOLD-2013 2013. С. 219-223.
9. Абросимов Н.В., Агеев А.И., Адушкин В.В., Акимов В.А., Аксютин О.Е., Алдошин С.М., Александров А.А., Алешин А.В., Алешин В.А., Алешин Н.П., Асмолов В.Г., Артамонов В.С., Афиногенов Д.А., Ахметханов Р.С., Баландин Д.В., Балуюевский Ю.Н., Баранов В.В., Баришполец В.А., Бармин Н.В., Барышов С.Н. и др. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты // Москва, 2017. Том Сводный том Фундаментальные и прикладные проблемы комплексной безопасности.

Захаров М.А.

**Оценка пригодности древесины сливы и вишни для выдержки
плодовых дистиллятов**

*ВНИИПБиВП - филиал ФГБНУ ФНЦ пищевых систем им В.М. Горбатова РАН
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-07

idsp: sciencerussia-10-12-2018-07

Аннотация

В данной статье рассматривается пригодность древесины сливы и вишни для выдержки плодовых дистиллятов, для повышения качества дистиллятов и увеличения ассортимента предлагаемой на рынок продукции вкупе с повышением ее конкурентоспособности. По итогам изучения макроструктуры и анатомических особенностей древесины вишни сливы было принято решение, что данная древесина обладает достаточным потенциалом для ее применения для выдержки плодовых дистиллятов.

Ключевые слова: древесина вишни, сливы, плодовые дистилляты, спиртные напитки, выдержка.

На сегодняшний день крепкие выдержанные спиртные напитки являются весьма востребованным продуктом и в России, и у зарубежного потребителя. Данный факт во многом обуславливается повышением культуры потребления алкоголя, в связи с чем необходимо не только повысить безопасность и качество изготавливаемого продукта, но и расширить его ассортимент.

На данный момент самый большой объем изготавливаемых крепких производят через контакт с древесиной дуба. Древесина плодовых деревьев еще недостаточно изучена, по этой причине в данных целях она почти не применяется. В этой связи очень актуально рассмотреть вопрос о том, пригодна ли древесина плодовых деревьев для использования в целях выдержки плодовых дистиллятов. Подробная проработка этого вопроса даст возможность повысить качественные характеристики спиртных напитков, улучшив их органолептические показатели. Соответственно, это приведет к расширению ассортимента выпускаемой продукции и увеличению конкурентоспособности товаров.

Общеизвестно, что, помимо виноградных алкогольных напитков, ягодные и фруктовые изготавливались человеком очень давно. Их производство и до сегодняшнего дня все еще продолжает совершенствоваться. Отдельные страны-изготовители в последнее время предпринимали попытки настаивать ягодные и фруктовые напитки и дистилляты на древесине плодовых деревьев. По причине разного климата в разных странах, удаленных друг от друга, биохимия растений и их анатомические особенности имеют значительные отличия, что, в свою очередь, может сказаться и на конечном результате – свойства алкогольных напитков, которые настаиваются на близкой систематически древесине, также имеют некоторые отличия.

Цель проведенных исследований заключалась в обосновании объективной оценки пригодности технологической щепы, изготовленной из древесины вишни в техпроцессе выдержки дистиллятов плодовых культур для получения высококачественных конкурентоспособных алкогольных напитков.

Древесина различных пород деревьев, в силу различий по своей структуре, является компонентом, обуславливающим органолептические показатели напитков, подвергающихся выдерживанию. Структура древесины также влияет и на скорость созревания напитков, на качество вырабатываемых из древесины экстрактов [1-4].

Дифференциация пород дерева для их использования в технологическом процессе виноделия производится по присущим ей анатомическим особенностям строения [5]. Проведя предварительное изучение анатомического строения ядровой древесины модельных деревьев вишни, можно сделать соответствующие выводы о том, пригодна ли такая щепа для выдержки плодовых дистиллятов.

К сожалению, существующие на сегодня литературные источники никак не могут помочь в этом вопросе, в них отсутствует информация о подробном анатомическом строении древесины вишни.

Справочник Атрохина В.Г. дает сжатую характеристику макроструктуры древесины вишни обыкновенной (*Cerasus vulgaris* Mill.), ее физических и механических свойств [6]. Материалы [7] также только в общем виде дают нам некоторое понимание строения древесины двух видов рода *Cerasus* Juss. Также стоит обратиться и к краткому описанию древесины двух сортов вишни – сахалинской – *C. sachalinensis* (Fr. Schmidt) Kom. et Alis C. и *maximowiczii* (Rupr.) Kom. [8]. Авторы описаний указывают, что в древесина 2-х данных видов особых отличий не имеет.

Автор говорит, что анатомически данная древесина сходна со строением родов *Armeniaca*, *Amygdalus* и *Persica*, однако, у нее не более 5 клеток в ширине многорядных

лучей, у отдельных же видов (*C. mahaleb* Mill.) доминируют узкие лучи, а сосуды более редкие и собраны в группы [9].

В качестве объекта проводимого исследования были взята древесина ветвей десятилетней обыкновенной вишни сорта Владимирская (Московская обл.).

Стереомикроскопирование при не более чем стократном увеличении было проведено на микроскопе МБС-10, использовались режим косо́го света и светопольный режим. Фотографии структуры были произведены на цифровую камеру.

Согласно общепринятым в гистохимии и ботанической микротехнике методикам готовились препараты для анатомических исследований [10,11]. Для микроскопирования был взят микроскоп Jenoval (Carl Zeiss), с окуляр-микрометром. Были использованы микрообъективы GF-Plan 12.5/0,25; Plan 9/0,2, 160/0,17; Apochromat 40/0,95, 160/Cor 0,1-0,2; GF-Plan HI 100/1,25.

Результаты исследования дали понять, что по строению и характерным свойствам древесины вишни является схожей с древесиной сливы, поскольку рассматриваемые роды обладают генетической близостью и подчиняются законам гомологических рядов наследственной изменчивости Вавилова Н.И. Данная порода дерева в Западной Европе отдельным родом не считается, ее определяют как *Prunus*. Но мы смогли определить, что слива и вишня по структуре немного отличается.

1-й этап заключался в изучении макроскопического строения древесины вишни по 3-м главным срезам ствола – поперечный, радиальный, тангентальный (тангенциальный).

Также в качестве объекта исследования выступали древесина сливы домашней сорта Венгерка (*Prunus domestica* L.), 30-летнего возраста (г. Москва) и древесина вишни обыкновенной сорта Владимирская (*Cerasus vulgaris* Mill.), 10-летнего возраста (Московская обл.).

При изучении анатомического строения древесины вишни и сливы были взяты три главных разреза ствола – поперечный, радиальный, и тангентальный (тангенциальный) рис.1.

Рис. 1. – Основные разрезы ствола:

- П – поперечный (перпендикулярно оси ствола);
- Р – радиальный (продольный срез через сердцевину ствола);
- Т – тангентальный (тангенциальный) (продольный по касательной к поверхности ствола).

По результатам проведенного исследования были выявлены такие особенности макроструктуры древесины.

В рассматриваемом образце древесины сливы явно видны кора, заболонь, ядро и сердцевина, но в древесине вишни явного выделения ядровой части не наблюдается. Слива и вишня – это породы дерева, имеющие факультативное ядро, интенсивность процесса ядрообразования в этом случае находится в непосредственной зависимости от множества условий, что и объясняет ядра у вишни. В обоих образцах наблюдались

незаметные невооруженным глазом мельчайшие сосуды, а также сердцевидные лучи (рис.2 и 3).

Рисунок 2. – Поперечный срез, структура древесины сливы.

Рисунок 3. – Поперечный срез, структура древесины вишни.

Данные по микроструктуре позволили зафиксировать, что в исследованных образцах вишни и сливы имеется жизнеспособный протопласт у большинства клеток сердцевидных лучей, что, в свою очередь, говорит о том, что в клетках происходят метаболические процессы, а в числе вторичных продуктов данных процессов образуются танины, флаваноиды и камеди. Поскольку в древесине много лучей, в них будут накапливаться вторичные метаболиты в большом количестве, в дальнейшем могущие переходить в дистиллят при его выдержке.

Древесина сливы и вишни является рассеяннососудистой и имеет тенденцию к кольцесосудистости. Из рассеянно-сосудистой древесины скорость экстракции компонентов выше, нежели из кольцесосудистой.

Отмечается, что в сосудах имеется скопление темноокрашенных камедей, не разбухающих в воде, глицерине и этиловом спирте, соответственно, они являлись инертными, что говорит об их полисахаридно-танинной природе. Наличие в структуре камедей может негативно сказаться на экстракции. Наряду с этим, присутствие камедей говорит о том, что в ядровой зоне накапливаются танины и низкомолекулярные окрашенные компоненты (преимущественно окисленные формы флаваноидов). Эти вещества тоже при выдержке могут переходить в дистиллят (рис. 4 и 5).

Рисунок 4. – Радиальный срез сливы, переходная зона между заболонью и ядром.

Рисунок 5. – Радиальный срез вишни, переходная зона между заболонью и ядром.

Древесины вишни и сливы (в особенности), по сравнению с древесиной дуба, охарактеризовывается пониженным содержанием тил. Этот аспект можно причислить к плюсам, так как тилы содержат горькие низкомолекулярные вещества, могущие во время выдержки переходить в дистиллят. Помимо этого, низкое содержание говорит о том, что древесина обладает высокой проницаемостью сосудов, что, в свою очередь, будет обуславливать более качественную экстракцию компонентов древесины.

Древесина вишни и сливы преимущественно представлены волокнистыми трахеидами, которые имеют щелевидно-окаймленные поры. Этот фактор будет оказывать положительное влияние на скорость экстракции.

Включения кальциевых солей в исследованных образцах не присутствовали, что обуславливает минимизацию негативного влияния на стабильность напитков древесины вишни и сливы.

Проведенные исследования выявили особенности древесины вишни, могущие положительно влиять на интенсивность процессов экстракции компонентов древесины при выдержке плодовых дистиллятов.

1. Оганесянц Л.А., Саришвили Н.Г., Коровин В.В., Гордеева Л.Н., Телегин Ю.А., Кардаш Н.К. 1996г. Анатомическое строение дубовой клепки для виноделия как показатель ее качества. / Обзорная информация. Пищевая и перерабатывающая промышленность. Серия 15. Винодельческая промышленность. – Вып. 2. – М.: АгроНИИТЭИПП, – 23 с.
2. Оганесянц Л.А. 1998. Дуб и виноделие. – М.: Пищепромиздат. 255 с.
3. Оганесянц Л.А. Изменчивость структуры древесины дуба и ее пригодность для выдержки винодельческой продукции / Л.А. Оганесянц, В.В. Коровин, П.А. Аксенов // Виноделие и виноградарство. – № 5 – М.: Пищпром, 2006. – С. 10-11.
4. Аксенов П.А. Исследование структуры и химического состава древесины дуба различного географического происхождения для оценки его пригодности к производству высококачественных

- коньячных спиртов / П.А. Аксенов, В.В. Коровин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. № 5 – М.: МГУЛ, 2007. – С. 9-16.
5. Аксенов П.А. Сравнительно-анатомическое исследование древесины дуба, применяемой в виноделии / П.А. Аксенов, В.В. Коровин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. № 3 – М.: МГУЛ, 2010. – С. 5-15.
 6. Атрохин В.Г. Древесные породы мира / К.К. Калущкий, Ф.Т. Тюриков. Древесные породы СССР; Под ред. К.К. Калущкого. Т. 3. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 264 с.
 7. Бенькова В.Е., Швейнгрубер Ф.Х. Анатомия древесины растений России. Бёрн: Издательство Хаупт 2004. 456 с.
 8. Ворошилова Г.И., Снежкова С.А. Древесина лесообразующих и сопутствующих пород Дальнего Востока. Учебное пособие. — Владивосток. Издательство Дальневосточного ун-та, 1984, 156 с.
 9. Гаммерман А.Ф., Никитин А.А., Николаева Т.Л. Определитель древесин по микроскопическим признакам с альбомом микрофотографий. М-Л., Издательство АН СССР, 1946. 143 с.
 10. Яценко-Хмелевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. – М. – Л.: Изд. АН СССР, 1954. – 335 с.
 11. Барыкина Р.П. и др. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. – М.: МГУ, 2004. – 312 с.

Иванов Г.В.¹, Куранов А.А.²

**Развитие схем автоматического управления технологическими процессами
обогащения угля**

¹*Кузбасский государственный технический университет*

²*ООО «Мониторем»*

(Россия, Кемерово)

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-08

idsp: sciencerussia-10-12-2018-08

Аннотация

Повышение технико-экономической эффективности, сокращение потерь угля в процессе обогащения возможно только с применением высокоэффективных автоматических систем управления производственными процессами. Совершенствование систем автоматизации технологических процессов обогащения угля является перспективным направлением повышения эффективности процесса обогащения. Рационального использования природных ресурсов, уменьшения тяжести и напряженности труда персонала.

Ключевые слова. Обогащение угля, эффективность, тяжелосредняя сепарация, флотация, сгущение, система автоматизации.

Первичная переработка (обогащение полезных ископаемых) является промежуточным этапом в общей технологии добычи сырья и обеспечивает получение товарной продукции, соответствующей требованиям последующей переработки для химико-металлургической, топливно энергетической и других отраслей промышленности.

Современная обогатительная фабрика — высокомеханизированное и автоматизированное предприятие.

Основными технологическими процессами современной углеобогатительной фабрики [1] являются процессы гравитационного обогащения отсадкой и в тяжелой среде, классификация шламов по крупности в гидроциклонах с последующим обогащением продуктов на спиральных сепараторах и флотационных машинах, процессы сгущения и фильтрования.

При обогащении угля автоматизация технологических процессов особенно эффективна, так как непосредственно влияет на качество и количество продукции и экономику производства.

В настоящее время, к основным задачам автоматизации обогатительных фабрик, решенных в соответствии с правилами промышленной безопасности, относят

сигнализацию и контроль, блокировку и защиту, запуск и остановку в заданной последовательности основного технологического и вспомогательного оборудования [2].

Однако, получить высокие технико-экономические показатели работы углеобогащательной фабрики без применения автоматических систем управления технологическими процессами невозможно.

Разработка и применение систем автоматизации возможно в двух направлениях - это автоматизация приготовления шихты с заданными постоянными параметрами, которые обеспечат эффективность процесса обогащения.

Для решения этой задачи должна быть обеспечена ритмичная поставка на фабрику угля со всех шахт поставщиков и наличие склада большой емкости с системой шихтования, что требует больших капитальных затрат.

Второе направление автоматизации - автоматизация контроля и управления процессами обогащения каждого технологического модуля отдельно, объединяя в единую систему автоматического управления с визуализацией действия системы в реальном времени на разных уровнях управления: аппаратчик – диспетчер - технический руководитель и составлением отчетности для контроля результатов технологического процесса руководителем разного уровня.

Применение данного направления систем автоматизации позволит получить максимальное количество товарного продукта необходимого качества в каждом технологическом процессе и по фабрике в целом, повысить эффективность, сократить потери горючей массы в процессе обогащения, уменьшить вероятность ошибочных действий аппаратчика, повысить эффективность контроля работы как оборудования, так и персонала фабрики.

Важным основанием применения систем автоматического управления является уменьшения воздействия источника вредных и опасных факторов на персонал, что способствует повышению безопасности труда, уменьшению тяжести и напряженности труда технологического персонала, сокращения времени нахождения рабочих во вредных условиях труда, связанного со значительными трудозатратами.

Разработанными ООО «МОНТОРЕМ» (www.montorem.com) и действующими системами автоматизации технологических модулей при обогащении угля является:

- Приготовление магнетитовой суспензии высокой плотности заданного значения
- Контроль и управления заданной величиной плотности тяжелосредной суспензии при обогащении в сепараторах и тяжелосредных гидроциклонах
- Контроль и управление классифицирующим гидроциклоном и спиральным сепаратором
- Контроль и управление процессом флотации угольных шламов
- Контроль и управление процессом сгущения шламовой воды

Приготовление магнетитовой суспензии высокой плотности.

В настоящее время на УОФ приготовление исходной суспензии с высокой плотностью связано с значительными затратами сил и времени персонала, может приводить к простоям и нарушению технологического режима модуля тяжелосредного обогащения.

Разработанная схема обеспечивает автоматическое приготовление суспензии заданной плотности, аккумуляцию полученной суспензии и использование при необходимости в процессе обогащения. При этом система обеспечивает учет расхода магнетита за заданный промежуток времени.

Основные функции системы:

Автоматическое приготовление суспензии заданной плотности;

- Учет расхода сухого магнетита со склада;

- Подача приготовленной суспензии в цех обогащения по команде диспетчера;
- Автоматический контроль и визуализация показаний плотности приготовленной суспензии, учет расхода магнетита, учет работы основного технологического оборудования и исполнительных механизмов;
- Составление отчетности за выбранный период по основным технологическим показателям (плотность, расход магнетита, простой) с построением графиков.

Система управления процессом обогащения угля в тяжелосредной суспензии

Основными факторами оперативного управления процессом тяжелосредного обогащения в сепараторах и гидроциклонах является величина плотности и вязкости суспензии.

Несмотря на то, что уголь перед обогащением классифицируется и, в большинстве случаев, проводится дешламация для отделения мелких частиц, суспензия представляет трехкомпонентную систему, состоящую из воды, утяжелителя и угле породного шлама, накопление которого увеличивает вязкость. Принципиальная схема предусматривает циркуляцию суспензии в системе и постоянное поступление в нее шлама и воды с углем; часть утяжелителя удаляется с продуктами обогащения. Эффективность процесса сепарации определяется вязкостью и плотностью суспензии утяжелителя. Регенерация суспензии на магнитных сепараторах позволяет удалить шламы, уменьшить вязкость и повысить плотность суспензии, и тем самым уменьшить расход магнетита.

Работой системы, в соответствии с требованиями [2] предусматривается управление делителем кондиционной суспензии, при этом 30-70 % кондиционной суспензии, в зависимости от обогащаемого угля, направляется на регенерацию, что способствует выводу илов и шламов, и, тем самым, уменьшению вязкости суспензии. В последующем, при необходимости повышения заданной плотности, в автоматическом режиме подается свежая суспензия высокой плотности.

Для достижения эффективного обогащения угля в статическом тяжелосредном сепараторе система поддерживает заданную плотность суспензии в пределах ± 10 кг/м³ при содержании шлама 150—200 кг/м³.

Применение системы позволяет централизовать управление комплексом, облегчает работу обслуживающего персонала, обеспечивает выдачу необходимой информации о процессе, ведет учет и отчет показателей, стабилизирует качество продуктов обогащения, позволяет получить концентрат заданной оптимальной зольности и повысить выход концентрата.

Автоматический контроль и поддержание заданного давления питания модуля классифицирующих гидроциклонов и спиральных сепараторов.

Основой для получения высоких технологических показателей в процессах обогащения тонких классов угля, в частности, на спиральных сепараторах и на флотации, является эффективность предварительной классификации на гидроциклонах [4]. При большом количестве факторов, определяющих эффективность классификации и диаметр граничного зерна разделения, основным является давление и содержание твердого в питании гидроциклона. Современные гидроциклонные установки обеспечивают контроль и поддержание давления в соответствии с технической характеристикой гидроциклона. Содержание твердого в питании определяется состоянием водно-шламовой схемы. По этой причине задачей системы является контроль и поддержание разбавлением водой заданного значения содержания твердого в сгущенном продукте, и поддержание уровня в стакане питания сепаратора для создания необходимой центробежной силы.

Автоматизация процесса флотации угля.

Процесс флотации является одним из важных процессов технологии углеобогащения, который необходимо рассматривать как способ получения дополнительного концентрата, повышения пластометрических показателей концентрата и регенерации водно-шламовой схемы фабрики, что влияет на показатели всех технологических процессов. Флотация является одним из самых многофакторных процессов, и поэтому наиболее сложным для автоматизации.

Введение в технологический процесс спиральных сепараторов существенно изменяет условия флотации, – уменьшается крупность частиц и содержание твердого в питании, что приводит к увеличению удельного расхода реагентов, снижению скорости флотации, увеличивает себестоимость процесса. Высокая себестоимость процесса, количество твердого в питании до 30 % от рядового угля определяют необходимость автоматического управления процессом флотации.

При всем многообразии факторов, которые определяют показатели процесса флотации, с учетом наличия устойчиво и достоверно работающих датчиков, наиболее целесообразен автоматический контроль содержания твердого и объемного расхода исходной пульпы, что позволяет осуществить дозирование реагента-собирателя по количеству твердого, поступающего на флотацию, реагента - вспенивателя по количеству твердого или объемному расходу исходной пульпы

Управление дозированием реагентов в автоматическом и ручном режимах с эмульгированием и дробной подачей эмульсии реагента по машинам и камерам позволяет наиболее эффективно вести процесс флотации.

Автоматизация процесса сгущения

Водно-шламовая схема современной УОФ представляет сложный комплекс в технологической схеме обогащения, назначение которого заключается как в создании среды для выделения концентрата, так и в регенерации шламовой воды, т. е. в восстановлении ее свойств, обеспечивающих получение высоких технологических показателей в основных процессах – отсадке, тяжелосредной сепарации, флотации, обезвоживании.

С учетом сложности управления процессами осаждения и фильтрования угольно-породных шламов представляется целесообразным автоматический контроль расхода и содержания твердого в шламовой воде, поступающей в радиальный сгуститель в объеме радиального сгустителя и в сгущенном продукте, автоматическое поддержание заданного удельного расхода и концентрации раствора флокулянта для процесса сгущения и фильтрования.

При комплексной автоматизации управления отдельными процессами, возможно обеспечить передачу в режиме реального времени информации о показателях процессов, балансовые данные, действия персонала по управлению процессом, иметь интегральный учет количества израсходованных материалов, реагентов и флокулянтов.

При комплексной автоматизации управления отдельными технологическими модулями одновременно возможно обеспечить:

- Интеграцию в систему технологической защиты и сигнализации;
- Аварийную сигнализацию на рабочем месте машиниста, аппаратчика и диспетчера фабрики;
- Управление основным как технологическим, так и вспомогательным оборудованием (насосы, импеллеры, эмульсификатор).
- Отчетность за выбранный период по основным технологическим показателям (расход магнетита, график поддержания заданной плотности суспензии, плотность и расход питания и отходов флотации, уровень пульпы в зумпфах водно-шламовой схемы, наработка моточасов, величина простоев оборудования) с построением графиков всех показателей.

В работе системы реализуются все принципы, обеспечивающие выполнение требований правил промышленной безопасности при эксплуатации оборудования на опасном производственном объекте.

Располагая такой информацией в системе управления, можно получить дополнительный выход концентрата заданной зольности при обогащении угля в среднем в тяжелых средах, равный 0,8- 1,0 %, при флотации 0,6 %. Возможно сокращение расхода магнетита на 15-20 % и флокулянтов на 20-25 %.

1. Проектирование и строительство углеобогащительных фабрик ново-го поколения : монография / Г. П. Сазыкин, Б. А. Синецкий, Л. П. Мышляев. - Новокузнецк : СибГИУ, 2003. - 123 с.,
2. Временные нормы технологического проектирования обогащитель-ных фабрик ВНТП 3-92. - М.: Мин - во топлива и энергетики РФ; Ком. Угольной пром - сти, 1992. – 182 с.
3. Инструкция по определению и нормированию потерь угля (сланца) при переработке (РД 03-306- 99). Охрана недр и геолого-маркшейдерский кон-троль (сборник документов) / Колл. авт. - М: Государственное предприятие НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 200.-128 с.
4. Техника и технология обогащения углей / Беловолов В.В., Бочков Ю.Н., Давыдов М.В. и др.; Под редакцией Чантурия В.А., Молявко А.Р. -М.:Наука, 1995. -622с.

Камчаткина В.М., Горovenko Е.В.

Проблемы технического обследования МКД в современных условиях

*Братский государственный университет
(Россия, Братск)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-09

idsp: sciencerrussia-10-12-2018-09

Аннотация

В статье приведен анализ состояния жилищного фонда Российской Федерации и Иркутской области. Представлены основные цели, порядок и этапы проведения технического обследования. Рассмотрены актуальные проблемы технического обследования многоквартирных домов.

Ключевые слова: жилищный фонд, техническое обследование, техническое состояние здания.

На сегодняшний день главная социальная задача повышения уровня благосостояния граждан Российской Федерации состоит в дальнейшем решении жилищной проблемы как за счет нового строительства, так и путем реконструкции, модернизации и капитального ремонта уже существующих жилых зданий.

Объем жилищного фонда в Российской Федерации на начало 2018 г. составляет 3 724 млн. м², в том числе 24,6 млн. м² ветхого и аварийного жилищного фонда (рисунок 1) [1]. В Иркутской области ситуация складывается следующим образом: общий объем жилищного фонда составляет 59,2 млн. м², в том числе 3,1 млн. м² ветхого и аварийного (рисунок 2) [2]. Согласно диаграммам, доля ветхого и аварийного жилья в Иркутской области превышает общероссийский на 4,6 %.

Для сохранения жилищного фонда от преждевременного выбытия, а также для обеспечения безопасных условий эксплуатации жилых зданий необходимо на должном уровне поддерживать техническое состояние строительных конструкций путем проведения своевременного технического обследования этих конструкций.

Рисунок 1. Структура жилищного фонда Российской Федерации

Рисунок 2. Структура жилищного фонда Иркутской области

Техническое обследование представляет собой комплекс мероприятий по определению и оценке фактических значений контролируемых параметров, которые характеризуют работоспособность объекта обследования и определяют возможность его дальнейшей эксплуатации, реконструкции или необходимости восстановления, усиления, ремонта, а также включает в себя обследование грунтов основания и строительных конструкций на предмет выявления изменения свойств грунтов, деформационных повреждений, дефектов несущих конструкций и определение их фактической несущей способности [3].

Целью проведения технического обследования является определение реального технического состояния здания и его элементов, получение количественной оценки показателей качества конструкций (прочность, сопротивление и т.д.), необходимых для установления состава и объема работ по капитальному ремонту или реконструкции [3, 4].

Процедура технического обследования проводится в соответствии с установленными государством стандартами - ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

В зависимости от задач технического обследования, его объектами могут выступать основания и фундаменты, конструкции зданий (стены, колонны, столбы, перекрытия и покрытия, балконы, лестницы, подкрановые балки и фермы, связевые конструкции), инженерное оборудование.

Обследование проводится поэтапно, а количество этапов зависит от объема информации, которую необходимо получить для достижения конечной цели технического обследования. Выделяют следующие ключевые этапы:

1. Подготовительный этап технического обследования.
2. Предварительное визуальное техническое обследование.
3. Детальное техническое обследование [3].

Подготовительный этап предполагает ознакомление с объектом, его объемно-планировочными и конструктивными решениями, материалами инженерно-геологических изысканий, а также подбор проектно-технической документации.

На этапе предварительного обследования визуальным осмотром выявляются видимые дефекты и повреждения с необходимыми замерами и их фиксацией.

Целью детального технического обследования является проведение инструментальных замеров деформаций, выявленных на предшествующем этапе, определение условий работы, материала конструкций, прочности и фактической несущей способности основных конструктивных элементов или здания в целом. Для данного вида обследования используются неразрушающие методы контроля: ультразвуковой, метод упругого отскока, метод ударного импульса и др.

По мнению Улыбина А.В. и Ватина Н.И. [5], на фоне применения современных инструментов и приборов на этапе детального обследования, качество визуального осмотра переходит на второй план и его результаты зачастую недооценивают. Однако поскольку визуальное обследование, как правило, делается сплошным, а детальное - выборочным, можно сделать вывод, что визуальное обследование более полно охватывает все конструкции, и тем самым обеспечивает качество работы.

По завершении технического обследования выдается заключение о техническом состоянии объекта, которое должно включать в себя категорию технического состояния здания (работоспособное, ограниченно-работоспособное или аварийное), материалы, на основании которых была выбрана данная категория технического состояния, при наличии дефектов и повреждений - обоснование возможных причин их появления в конструкциях, а также при необходимости задание на проектирование мероприятий по восстановлению или усилению конструкций.

Таким образом, оценка состояния жилых зданий - это важная и необходимая процедура, позволяющая определить качество строения и степень его безопасности для окружающих людей, а также возможность его безаварийной эксплуатации.

Важность проведения оценки обуславливает исключительную значимость деятельности по предупреждению различных проблем, препятствующих проведению оценки состояния жилищного фонда.

Так, одной из основных проблем является отсутствие единого алгоритма и стандартных методик проведения обследований, что не позволяет получить одинаковые результаты разным специалистам. Это связано с тем, что специалисты, проводящие обследование, могут иметь разный опыт в области изыскательских работ, используют разные измерительные приборы и средства контроля качества, а также опираются на различную техническую литературу.

Еще одной проблемой является то, что при обследовании жилых зданий старых годов постройки не всегда имеется достаточное количество проектной документации. В связи с этим сложно судить о том, была ли перепланировка или переустройство здания.

В настоящее время нельзя не отметить тенденцию к повсеместному использованию различных навесных фасадов, а также облицовочных панелей. А поскольку любое обследование начинается с визуального осмотра объекта, то становится затруднительно обнаружить проблемные места, провести вскрытия, отобрать пробы и образцы, ведь зачастую демонтировать данного вида конструкции на время обследования заказчики отказываются. Следует отметить, что за счёт податливости соединений навесных фасадов наличие деформаций и трещин в стенах не видно до тех пор, пока они не станут критичными.

Необходимость устранения данной проблемы заложена в ФЗ-384 от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». В законе указано, что проектной документацией должна быть предусмотрена доступность элементов строительных конструкций, сетей и систем инженерно-технического обеспечения с целью определения их фактических параметров и других характеристик, а также параметров материалов, изделий и устройств в процессе строительства и эксплуатации. Однако, как показывает практика, данное требование закона либо не выполняется вовсе, либо ему придается второстепенное значение.

На конец 2017 года в России порядка 80% жилого фонда находится в собственности жильцов. Именно этот факт представляет собой особую сложность при обследовании многоквартирных жилых домов. Негативное отношение, а иногда и полное препятствие жителей проведению обследования связано с непониманием ими целей и задач проведения данных работ, а также с тревогой за сохранность своего жилья, нежеланием нарушать отделку помещений и испытывать неудобства при производстве работ [1].

Современная отделка помещений жилых домов предполагает использование подвесных и натяжных потолков, гипсокартонных перегородок, обшивку стен декоративными панелями. Все это ограничивает возможность проведения визуального осмотра и инструментальных исследований без нарушения отделки.

Иногда препятствия собственников жилых помещений проведению технического обследования обусловлено стремлением скрыть факты незаконных перепланировок, переустройств и переоборудований помещений.

В заключение следовало бы отметить, что зачастую техническое обследование жилых зданий связано с уже имеющимися дефектами и повреждениями, возникающими, как правило, из-за неправильной эксплуатации или вовсе из-за отсутствия эксплуатационного обслуживания. А поскольку в большинстве случаев жилое здание призвано служить не одно десятилетие, следует не пренебрегать мероприятиями по правильной эксплуатации, текущими осмотрами, проводить беседы с жильцами о важности и необходимости проведения обследования, а также разрабатывать правовые, организационные и механизмы, позволяющие проводить адекватную оценку состояния жилищного фонда.

1. Жилищный фонд // Официальная статистика // Население // Жилищные условия [Электронный ресурс] URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/housing/#
2. Жилищный фонд // Официальная статистика // Жилищные условия [Электронный ресурс] URL: http://irkutskstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/irkutskstat/ru/statistics/housing/
3. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: Межгосударственный стандарт ГОСТ 31937-2011. Введ. 2014-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 55 с.
4. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений: Свод правил по проектированию и строительству СП 13-102-2003. Введ. 2003-08-21. – Москва: Центр проектной продукции в строительстве (ФГУП ЦПП), 2003. – 32 с.
5. Улыбин А.В., Ватин Н.И. Качество визуального обследования зданий и сооружений и методика его выполнения // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2014, № 10 (25). С. 134-146

Крукович М.Г.

Развитие теории, практики и терминологии процесса борирования

Российский университет транспорта (МИИТ)

(Россия, Москва)

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-10

idsp: sciencerrussia-10-12-2018-10

Аннотация

Проведен анализ теории, технологии и практики процесса борирования и образующихся слоев различного назначения. Предложено ввести в название различных процессов борирования и получаемых слоев применяемые конкретные технические приемы, что позволяет унифицировать терминологию и более эффективно предварительно выбирать слои для конкретных условий эксплуатации с учетом изменения размеров деталей во время обработки. Сформулированы условия снижения хрупкости боридных структур и получения композиционных гетерогенных слоев.

Ключевые слова: Борирование, диффузия, осаждение атомов, фазовый состав, изменение размеров, композиционные гетерогенные слои, пластичность, повышение эксплуатационной стойкости.

Борирование – технологический процесс получения поверхностных слоев, содержащих бор, на деталях или полуфабрикатах. При этом процесс относится к химико-термической обработке, то есть связан с осаждением атомов бора и их диффузией в

обрабатываемый металл. Классификационная схема процесса борирования [1, 2] объединяющая механизм образования насыщающих атомов бора, технологию проведения процесса насыщения, фазовый состав получаемых слоев и их свойства, а также разделение режимов борирования по температуре и возможности их совмещения с различными режимами термической обработки, позволила обобщить имеющиеся многолетние теоретические и практические результаты и унифицировала основные термины и понятия. В то же время появились исследования, расширяющие понятие термина борирование.

Таким образом, целью данной работы является проведение анализа существующих разработок процесса борирования и введение новых трактовок.

В настоящее время борированные слои получают различными методами:

- традиционными методами при температуре более 550 0С (из газовых, твердых-порошковых, жидких или плазменных сред) при нагреве любыми известными способами [1];
- химическим осаждением из водных растворов с последующим спеканием или отжигом осадков при температуре более 500 0С [3, 4 и др.];
- электрохимическим осаждением из электролитов (гальванический процесс) с последующим отжигом осадков [5];
- путем вакуумного физического или химического осаждения из газовых сред (PVD, CVD процессы) при наличии диффузионной переходной зоны;
- путем электролиза суспензий.

Эти методы отличаются друг от друга технологическими приемами и применяемым оборудованием, процессами, протекающими в насыщающей среде, механизмом массопереноса, реакциями на обрабатываемой поверхности, что обеспечивает образование различных видов слоев с различными физико-механическими и электромагнитными свойствами и назначением. В частности, образуются борированные слои с различным фазовым составом и структурой: осадки атомарного бора; осадки бора с металлами, неметаллами или полимерами; осадки боридов, карбидов или нитридов железа и легирующих элементов; диффузионные слои на основе боридов железа или легирующих элементов, или в сочетании их с твердыми растворами. Поэтому возникает необходимость уточнения терминологии в размещении и названии таких слоев.

Предлагается следующая классификация:

I - диффузионные борированные слои, полученные путем диффузии бора в глубь от поверхности обрабатываемого материала. При этом прирост размеров детали во внешнюю сторону от поверхности составляет не более 15% от толщины слоя боридов. Температура обработки, составляет более 500 0С. Основными фазами слоя являются бориды обрабатываемого металла и легирующих элементов, а также, в некоторых случаях, α -твердый раствор;

II - борированные слои, полученные любыми методами и состоящими из диффузионного слоя, выросшего от поверхности в глубь материала, а также слоя, осажденного с внешней стороны поверхности детали. Прирост размеров детали в этом случае состоит из суммы увеличения размера за счет диффузионной зоны (15 % от толщины слоя боридов) и увеличения размера за счет толщины слоя, осажденного с внешней стороны поверхности детали;

III - борированные слои, полученные любыми методами и состоящими только из осажденной зоны. Прирост размеров детали соответствует толщине осажденного слоя.

Общий прирост размеров детали после проведения упрочняющей обработки состоит из изменения размеров за счет слоя и структурных изменений в объеме металла при нагреве и охлаждении.

Осажденные слои из водных растворов с нагревом до 4100С («Способ борирования поверхности стали для эмалирования» [6]) не могут быть отнесены к

диффузионным борированным слоям и к патентному классу C23C, то есть не относятся к процессу химико-термической обработки. Выбранные же авторами прототипы [7, 8] не относятся к осаждению бора из водных растворов. Кроме того, авторы изобретения (Патент РФ № 2135631, C23C8/42) не приводят ни значений толщины слоя, ни химического анализа, подтверждающего присутствие бора в слое, ни фазового состава слоя. По приведенным цветам поверхности обработанных образцов после нагрева следует сделать заключение, что полученные слои неизвестной толщины представляют собой всего лишь окисные пленки, а получаемые оттенки соответствуют цветам побежалости сталей. Таким образом, данная технология как «Способ борирования поверхности стали для эмалирования» не относится ни к традиционному процессу борирования, ни к процессам химико-термической обработки, а получаемые слои не являются ни борированными, ни боридными. Подобные осажденные слои в случае подтверждения наличия бора в слое могут быть отнесены к III группе и названы борированными. Однако следует оговаривать технологические особенности их получения. Например, борированные слои из водных растворов, электрохимические или электролитические борированные слои из водных растворов, осажденные борированные слои и т.п. в соответствии с применяемой терминологией по нанесению покрытий.

Осажденные при 750 °С путем электролиза расплавленных солевых смесей борированные слои на основе бора и легирующих боридообразующих элементов по технологии Али Эрдемир и Осман Эриильмаз [9] отнесены ко второй группе, так как состоят из осажденной и диффузионной зон слоя. При длительной выдержке, выключенном токе и некоторой толщине осадка могут трансформироваться полностью в диффузионный слой за счет химического взаимодействия и диффузии осажденного бора в поверхностные слои детали. Полученная толщина слоя, равная 100 мкм при выдержке 15 мин., представляет собой сумму толщин диффузионной зоны и зоны осажденных боридов металла и легирующих элементов с внешней стороны поверхности детали. Осажденные при 750 °С атомы бора и атомы легирующих элементов могут при температуре обработки вступать в реакцию и образовывать компактный слой боридов за счет диффузии и химических связей в осадке. Общую толщину слоя, равную 200 мкм и более, получают по этой технологии в течение 3 – 4 ч. В этом случае слой состоит из компактной боридной зоны, включающей в себя диффузионную зону и осажденную на поверхности. Таким образом, рекламный бум «быстрого борирования» и упразднения диффузионных процессов остается рекламой, а процесс электролитного диффузионного борирования из расплавов солей при диффузии бора и легирующих элементов в обрабатываемом металле остается в традиционных временных рамках.

В соответствии с проведенным анализом следует уточнить ряд формулировок, разделяющих процесс борирования и получаемые слои на следующие виды:

- **Диффузионное борирование** – совмещенный процесс восстановления бора (осаждения) на обрабатываемой поверхности с диффузией атомов бора в глубь детали и образованием слоя боридов с подслоем или слоя на основе α -твердого раствора;
- **Осажденное борирование с дополнительной обработкой** – процесс осаждения бора или в сочетании с другими элементами или соединениями на внешнюю сторону детали с последующей обработкой при температурах (более 500 °С), обеспечивающих образование диффузионной зоны (применение отжига, нагрева под закалку, нормализации, нагрева лазером, плазмой, электронно-лучевой обработкой) и оставшегося осажденного слоя, обеспечивающего приращение размеров;
- **Осажденное борирование** - процесс осаждения бора на внешнюю сторону детали с целью получения аморфного или другого слоя.

Во всех случаях свойства борированных поверхностей определяются фазовым составом слоев. При обработке железоуглеродистых сплавов компоненты и фазы в

системах В-Fe и В-С-Fe остаются стабильными в определенных концентрационных условиях, однако, их влияние на поверхностные и объемные свойства существенно отличаются. Наибольшая твердость и износостойкость обеспечиваются при образовании боридных фаз FeB и Fe₂B. В ряде случаев наблюдается образование фазы FeB₂ [10] с более высокими характеристиками твердости и хрупкости. Для снижения хрупкости целесообразно получение композиционных гетерогенных структур.

Массоперенос в насыщающих средах при диффузионном борировании, как и при других процессах химико-термической обработки, является единым и обеспечивается субсоединениями (диссипативными структурами), содержащими ионы бора низших валентностей, которые возникают при нарушении равновесия в термодинамической системе, и приводят ее к стационарному состоянию, характеризующемуся минимумом производства энтропии [11]. Т.е. массоперенос проходит в режиме самоорганизации.

Формирование самого борированного слоя происходит в условиях, когда поверхность находится в кристаллическом, жидкокристаллическом или жидком состояниях, при которых реализуется либо диффузионный, либо диффузионно-кристаллизационный механизмы. В первом случае образуются компактные борированные слои, во втором – композиционные гетерогенные. В случае быстрого охлаждения сплава, содержащего бор, из жидкого или жидкокристаллического состояния возникает вероятность его аморфизации. Такое состояние поверхностных слоев или в подслое может быть достигнуто при лазерном, плазменном, или электронно-лучевом видах нагрева.

Методы снижения хрупкости борированных слоев в настоящее время составляют основу для повышения эксплуатационной стойкости деталей после борирования. Общими направлениями изменения свойств этих слоев при различных способах насыщения являются: получение слоев с однофазной структурой на основе Fe₂B или слоев с минимальным содержанием хрупкой фазы FeB; микролегирование боридов слоя из подложки или насыщающей среды; оптимизация температурно-временных параметров; ступенчатый режим параметров процесса: плотности тока, содержания электрохимического восстановителя, температуры, борного потенциала насыщающей смеси; применение концентрированных источников энергии при проведении процесса обработки или проведение дополнительной обработки полученных боридных слоёв; одновременное или последовательное насыщение металлической поверхности бором и элементами, ограниченно растворимыми в бориде (C, Si, Al, S, Cu); регулирование степенью герметизации насыщающего пространства или проведение обработки в контролируемой атмосфере; предварительное осаждение металлов (Fe, Ni, Ni+P, Mn и др.) на обрабатываемую поверхность и последующее борирование; одновременное или последовательное диффузионное насыщение бором и легирующими элементами.

Снижение хрупкости достигалось также путем последующего лазерного или электронно-лучевого нагрева борированных слоев, полученных традиционными методами [1, 2]. Основными путями реализации цели являлись: изменение фазового состава с уменьшением твердости; диспергирование структуры поверхности и/или подслоя; создание плавного перехода твердости от поверхности к сердцевине; создание разгрузочных зон путем нанесения на изнашиваемые поверхности сетки лазерных дорожек.

Главным образом борирование находит применение для повышения эксплуатационной стойкости быстроизнашиваемых деталей и инструментов, работающих в самых разнообразных условиях. Обеспечивается повышение эксплуатационной стойкости в 2 и более раз.

Одним из факторов успешного использования борирования является контроль изменения размеров за счет образовавшегося слоя. В особенности эта проблема усложняется при образовании слоя на основе высокотвердых боридов небольшой

величины (0,08-0,15 мм). В меньшей степени это касается композиционных борированных слоев значительной толщины (0,5-1,0 мм) с эвтектической или псевдоэвтектической структурой, которые имеют меньшую твердость и достаточный припуск на доводку. При получении слоев боридов, состоящих из диффузионной зоны и осажденной зоны вне начальной поверхности, общее приращение размеров детали зависит от режима обработки и должно подбираться индивидуально для каждого случая.

В других случаях изменение размеров определяется исходным состоянием материала подложки, скоростью охлаждения после борирования, видом применяемой последующей термической обработки. Поэтому, особенно при обработке прецизионных деталей сложной формы, закономерность изменения размеров следует определять экспериментальным путем и учитывать эти изменения при изготовлении борируемых изделий.

1. Крукович М.Г., Прусаков Б.А., Сизов И.Г. Пластичность борированных слоев. – М.: Физматлит, 2010, 365 с.
2. Krukovich M.G., Prusakov B.A., Sizov I.G. Plasticity of Boronized Layers/ Springer Series in Materials Science, V. 237. – Springer International Publishing Switzerland 2016. – 364 pp.
3. Косков В.Д. Повышение долговечности деталей буровой техники путем формирования на поверхности комплексно-легированного боридного слоя. – Автореф. канд. дис. – Свердловск, УПИ, 1986, - 20 с.
4. Далисов В.В., Мардаревич Р.С., Бродяк Я.П. Формирование многослойного никель-бор-хромового покрытия. – Защитные покрытия на металлах. – Киев: Наукова думка, 1988, вып. 22, С. 58-61.
5. Шматко И.О. Структурообразование гальванофоретических покрытий на основе тугоплавких соединений при жидкостном спекании и разработка технологии получения износостойких покрытий. – Автореф. канд. дис. – Киев, 1991, - 26 с.
6. Веропаха Н.В.; Зубехин А.П. Патент РФ № 2135631, C23C8/42, C23D3/00, Опубл. 27.08.1999.
7. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л.С. Борирование стали. – М.: Металлургия, 1978. -239 с.
8. Борисенко Г.В., Васильев Л.А., Ворошнин Л.Г., Горбунов Н.С., Дубинин Г.Н., Жунковский Г.Л., Крукович М.Г. и др. Химико-термическая обработка металлов и сплавов/Справочник. Под ред. Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. - 424 с.
9. Али Эрдемир, Осман Эриилмаз. Материалы Аргоннской национальной лаборатории США (2012), www.zoominfo.com/p/Osman.../395153033.
10. Кухарева Н.Г., Галынская Н.А., Петрович С.Н. Диффузионные покрытия, полученные из композиционных сред. Наука и техника, № 5, 2013. - С. 21 – 26.
11. Крукович М.Г. Механизм формирования диффузионных слоев. В сборнике «Новые материалы и технологии в машиностроении», - Брянск (РФ): Изд-во БГИТА, 2012, вып. 15, С.69-76

Ларин И.С.

Активация развития популяции пивных дрожжей низового брожения обработкой светом с длинами волн видимого диапазона

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-11

idsp: sciencerrussia-10-12-2018-11

Аннотация

В статье приведены результаты исследований способа активации развития популяции пивных дрожжей низового брожения за счет обработки засевной суспензии монохроматическим светом с длинами волн из видимого диапазона. Показано, что такая обработка может в зависимости от длины волны света приводить как к снижению, так и к увеличению значений контролируемых показателей: общего титра клеток, нежизнеспособных клеток, клеток с гликогеном. Установлено, что фотообработка при длине волны света 500 нм приводит к увеличению общего титра на 4 %, а доли клеток с гликогеном почти на 8 % по сравнению с контролем. На основании приведенных данных сделан вывод о целесообразности продолжения исследований в данном направлении.

Ключевые слова: фотостимуляция, пивные дрожжи низового брожения, развитие дрожжевой популяции

Abstract

The article presents the results of studies on the method of activating of the development of a population of bottom-fermenting brewer's yeast by treating of a seed yeast suspension by monochromatic light with wavelengths from the visible range. It is shown that such treatment can, depending on the wavelength of light, lead to both a decrease and an increase in the values of controlled parameters: total cell titer, nonviable cells, cells with glycogen. It is established that phototreatment at the wavelength of 500 nm leads to an increase in total cell titer by 4%, and the percentage of cells with glycogen by almost 8% compared to the control. Based on the above data, it is concluded that it would be advisable to continue researches in this area.

Keywords: photostimulation, bottom-fermenting brewer's yeast, development of the yeast population

Развитие дрожжевой популяции является ключевой стадией во многих пищевых производствах, в первую очередь, бродильных, в частности, в пивоварении. В силу того, что в производственных условиях пивоварения большинство параметров стадии культивирования дрожжевой популяции (температура, состав питательной, затем сбраживаемой среды, количество посторонних микроорганизмов, а в ряде случаев и продолжительность процесса) не являются оптимальными для клеток дрожжей, необходимые результаты главного брожения во многом определяются исходным физиологическим состоянием засевных дрожжей, их бродильной активностью. Эти характеристики зависят как от условий ведения чистой культуры/состояния и хранения семенных дрожжей, так и от используемых технологом способов активации, например, применения дрожжевых «подкормок».

В научной литературе приводится информация и о других способах активации микробных, в частности дрожжевых клеток. Некоторые из них базируются на обработке микробных клеток перед их использованием в технологическом процессе волновыми/полевыми воздействиями [6, 10]. Это позволяет, очевидно, ввести в систему дополнительную энергию, что приводит к изменению характера функционирования ее компонентов, в частности, ферментов. Это предположение подтверждается информацией ряда литературных источников, в которых рассматриваются возможности улучшения технологических характеристик различных видов сырья и вспомогательных материалов бродильных производств с помощью обработки звуком слышимого диапазона [1, 2, 3, 4, 5].

Не менее интересным, по нашему мнению, является подход, базирующийся на использовании активации клеток путем воздействия света, в первую очередь, видимого спектра. Результаты исследований в этой области были опубликованы достаточно давно [7, 9], однако, судя по анализу литературной информации, дальнейшее развитие получили только в последнее время [8]. В этих исследованиях показана возможность фотостимуляции развития популяции пивных дрожжей верхового брожения. Эффект фотообработки оценивали по изменению убили веса сбраживаемой среды, приросту общего числа клеток и изменению количества мертвых клеток в опытных (обработанных светом) вариантах по сравнению с контрольными. Установлено, что обработка засевных дрожжей светом с длиной волны 750 нм в течение 40 минут позволила увеличить убыль веса на 55 % и прирост общего титра клеток на 82 % по сравнению с контролем при незначительном увеличении числа мертвых клеток.

В Российской Федерации в настоящее время основной объем производимого пива представлен пивом низового брожения, поэтому целью наших исследований было определение возможности фотостимуляции развития популяции пивных дрожжей именно

низового брожения. В качестве таковых использовали семенные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* (Döemens 308) первой генерации.

Для обработки дрожжевой суспензии до засева ею производственного пивного суслу (концентрация сухих веществ 15 %) использовали монохроматический свет видимого диапазона, который генерировали с помощью спектрофотометра Genesys 6 (Thermo Fisher Scientific, Финляндия). Контроль развития популяции осуществляли, определяя прямым микроскопированием в камере Горяева общий титр дрожжевых клеток, нежизнеспособные клетки (с метиленовым синим), а также клетки с гликогеном (с раствором Люголя). Перечисленные показатели определяли в исходной суспензии дрожжей, затем ее объем разделяли для формирования контрольных и опытных вариантов. Опытные объемы суспензии дрожжевых дрожжей помещали в кювету спектрофотометра и воздействовали на нее светом определенной длины волны (значения приведены в таблице 1 и рисунке 1) в течение 60 мин при комнатной температуре. Каждые 15 мин содержимое кюветы перемешивали. Контрольные образцы выдерживали при комнатной температуре в течение того же времени в темном месте, исключая воздействие света из какого-либо источника. Затем производили засев одинаковых объемов производственного пивного суслу и вели культивирование микробных популяций при температуре 25о С в течение 3 суток без принудительного перемешивания среды. По окончании процесса в опытных и контрольных образцах определяли те же показатели, что и в засевной суспензии дрожжей. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели дрожжевых популяций после обработки светом различных длин волн

Вариант	Длина волны, λ	Общее количество клеток дрожжей, млн/см ³	Клетки с гликогеном, %	Нежизнеспособные клетки дрожжей, % к общему количеству
K1	Без обработки	8500	91	5
K2	Без обработки	8900	89	4,5
O1	380	7900	90	6
O2	400	8100	93	5
O3	500	9100	97	6
O4	600	6750	98	3,4
O5	700	7100	88	7,4
O6	750	8100	96	3,4

Рисунок 1. Влияние обработки светом с различными длинами волн на показатели, характеризующие развитие дрожжевой популяции

Данные таблицы позволяют заключить, по нашему мнению, что фотообработка засевной суспензии существенно меняет характер и результаты развития популяции пивных дрожжей низового брожения. Необходимо отметить, что обработка монохроматическим светом в условиях экспериментов приводила как к улучшению, так и ухудшению результатов культивирования в зависимости от использованной длины волны. Для большей наглядности полученные результаты были выражены в процентах к средним значениям контрольных образцов и представлены на рисунке 1.

Видно, что воздействие света по-разному влияет на величины контролируемых показателей, однако наиболее целесообразной следует признать обработку при длине волны, равной 500 нм: в опытном варианте общий титр был на 4,6 %, а доля клеток с гликогеном почти на 8 % выше, чем аналогичные средние показатели контрольных образцов. Заметное увеличение доли мертвых клеток в опыте может быть объяснено более интенсивным развитием дрожжевой популяции.

Зафиксированные улучшения не слишком велики, однако свидетельствуют о принципиальной возможности стимуляции развития популяции пивных дрожжей низового брожения светом видимого диапазона, а также позволяют предположить, что при установлении рациональных параметров обработки монохроматическим светом засевной суспензии (в первую очередь, продолжительности и длины волны) будет обеспечен технологически и экономически значимый прирост значений контролируемых показателей, что позволит интенсифицировать протекание стадии главного брожения пивоваренного производства.

1. Данильчук, Т.Н. Биологические эффекты некоторых физических факторов колебательной природы на прорастающее зерно ячменя / Т.Н. Данильчук, И.А. Рогов // В сборнике: Перспективные ферментные препараты и биотехнологические процессы в технологиях продуктов питания и кормов ВНИИПБТ; Под редакцией В.А. Полякова, Л.В. Римаревой. - 2016. - С. 158-163.
2. Карпенко, Д.В. Изучение влияния акустических колебаний на качество пивоваренного ячменного солода / Д.В. Карпенко, М.А. Беркетова // Пиво и напитки: безалкогольные, алкогольные, соки, вино. - 2012. - № 5. - С. 14-16.
3. Карпенко, Д.В. Оптимизация параметров акустической обработки пивоваренного ячменного солода / Д.В. Карпенко, М.А. Беркетова // Пиво и напитки: безалкогольные, алкогольные, соки, вино. - 2012. - № 4. - С. 8-10.
4. Карпенко, Д.В. Способ активации амилалитического ферментного препарата / Д.В. Карпенко, Т.А. Тихонова, К.К. Ходарев, Ю.Б. Овчинников, В.В. Безгубов // Пиво и напитки: безалкогольные, алкогольные, соки, вино. - 2015. - № 4. - С. 42-44.
5. Карпенко, Д.В. Повышение экстрактивности хмеля с помощью акустической обработки / Д.В. Карпенко, И.Э. Позднякова // Пиво и напитки: безалкогольные, алкогольные, соки, вино. - 2016. - № 6. - С. 46-49.
6. Карпенко, Д.В. Улучшение качественных характеристик сырья и полупродуктов пивоварения за счет акустической обработки / Д.В. Карпенко // В книге: Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. - 2017. - С. 60-63.
7. Конев, С. В. Индуцируемые светом структурные перестройки мембран как возможные механизмы регулирования жизненных процессов / С. В. Конев // Фоторегуляция метаболизма и морфогенеза растений. – М.: Наука, 1975. – С.37 – 47.
8. Супрунюк, А.Ю. Влияние обработки монохроматическим светом на характеристики пивных дрожжей / А.Ю. Супрунюк, Д.В. Карпенко // В сборнике: День Науки Общеуниверситетская научная конференция молодых учёных и специалистов. - 2016. - С. 134-138.
9. Шабурова, Г. В. Интенсификация производства пива путем фотостимуляции метаболизма дрожжей : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.07, 05.18.11 / Шабурова Галина Васильевна. – Кемерово, 1984. – 185 с.
10. Щебелев, Л.И. Влияние низкоинтенсивной акустической обработки на жизнедеятельность бактерий *Lactobacillus plantarum* / Л.И. Щебелев, Т.Н. Данильчук // В сборнике: Живые системы и биологическая безопасность населения. Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых. - 2017. - С. 13-15.

Скубак П.Г., Гурин И.В.
Применение ЭМГ в реабилитационной робототехнике

*Донской государственный технический университет
(Россия, Ростов-на-Дону)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-12

idsp: sciencerussia-10-12-2018-12

Аннотация

В данной статье рассмотрен электромиографический метод получения информации об активности мышц. Также приведены примеры применения электромиографии в роботизированной реабилитации и описаны современные реабилитационные аппараты, использующие эту технологию.

Ключевые слова: Электромиография, робототехника, реабилитация.

Что такое ЭМГ

Электромиография - метод электрофизиологической диагностики поражений нервно-мышечной системы, состоящий в регистрации электрической активности (биопотенциалов) скелетных мышц. Позволяет исследовать функциональное состояние мышцы при различных физиологических и патологических изменениях, а также получить информацию о состоянии и сохранности иннервации на различных уровнях. Кроме того, электромиографию широко используют для изучения различных рефлекторных реакций в физиологии двигательных систем организма, в патофизиологии периферического нейромоторного аппарата, в функциональной диагностике болезней периферических нервов и мышц, нарушений нервно-мышечной передачи, при изучении трудовых процессов, механизмов утомления, в спортивной, космической и авиационной медицине.

Начало изучения электрических явлений в мышцах связано с работами Н. Е. Введенского (1884). Первая регистрация электромиограммы с помощью струнного гальванометра и ее описание сделаны Пипером (Н. Е. Piper, 1907), однако стремительное развитие метода и его широкое внедрение в клин. практику связаны с разработкой игольчатого электрода, значительно расширившего возможности использования электромиографии.

Биопотенциалы мышц усиливаются и регистрируются с помощью электромиографа. Современный электромиограф представляет собой сложное устройство, состоящее из электродов для снятия биопотенциалов мышц, усилительного блока, осциллоскопа, фоторегистратора для записи электромиограммы (ЭМГ) на фотобумаге.

Методы ЭМГ

Электронейромиография

ЭНМГ - это комплекс методов оценки функционального состояния нервно-мышечной системы, основанный на регистрации и качественно-количественном анализе различных видов электрической активности нервов и мышц.

Стимуляционные методы ЭМГ

В настоящее время в клинической практики наиболее распространён метод стимуляционной миографии. Стимуляционная ЭМГ основана на анализе вызванных электрических ответов мышцы, полученных путем прямой или непрямой электрической стимуляции периферического нерва.

Неинвазивная ЭМГ

Поверхностная – регистрирует биоэлектрическую активность на обширном участке мышцы и проводится путем наложения электродов на кожу.

Инвазивная ЭМГ

Локальная – применяется для исследования работоспособности отдельных мышечных элементов. Для этого электроды в виде очень тонких игл вводятся непосредственно в мышцу.

Прием сигнала с ЭМГ

Функциональным элементом системы является двигательная единица (ДЕ). Данное понятие впервые было введено Шеррингтоном Х.С. (1925) и до сих пор является физиологической основой ЭМГ. Под двигательной единицей подразумевают комплекс, состоящий из двигательной клетки, ее аксона и группы мышечных волокон, иннервируемых этим аксоном.

При считывании сигнала с ЭМГ получают так называемый М-Ответ - суммарный потенциал мышечных волокон, регистрируемый с мышцы при стимуляции иннервирующего ее нерва одиночным стимулом. В норме он представляет собой двухфазную кривую: первая фаза отрицательная (направлена вверх), вторая положительная. При максимальной стимуляции в мышце гарантированно "отвечает" максимальное количество двигательных единиц. Поэтому М-ответ стабилен по своим параметрам, что отличает его от других волн.

Рассмотрим считывание сигнала в кибернетической системе на примере робота для поддержки движения верхней конечности. Пациент с помощью системы поддержки руки перемещает ложку из одной зоны в другую. Сигнал, который получает электромиограф представлен на рисунке 1:

Рисунок 1. Выведены такие параметры как угол локтя, угол удлинения пальца и значение каналов RMS 6 и RMS 13

Средние значения RMS при низком, среднем и высоком уровне импеданса (Электрический импеданс — комплексное сопротивление между двумя узлами цепи или двухполюсника) на рисунке 2 составляют 107%, 114% и 123% (a, b, c) что показывает о повышении нагрузки на механизм и снижении нагрузки на мышцы испытуемого. На рисунке 2 представлены графики, полученные, при подъеме 5-ти кг гантели, выполненные при использовании трех параметров постоянного импеданса (низкий, средний, высокий). Чем выше уровень импеданса, тем меньший сигнал считывает ЭМГ, так как прикладывается меньшая нагрузка для подъема гантели.

Рисунок 2. Графики изменения уровня импеданса

Применение в кибернетике.

Электромиограф принимает сигнал, идущий от мозга к конечности, и посредством считывания и усиления его, формирует электрический сигнал, который затем передает в систему робота. Так происходит активное или пассивное управление роботом.

Реабилитация верхних конечностей

Один из самых первых роботов для реабилитации верхних конечностей человека, был робот MIME (Mirror Image Motion Enabler), который использовал пассивные и активные движения для реабилитации верхних конечностей. Эта система использовала устройства для определения своего положения в пространстве.

Следующей ступенью развития роботов для реабилитации рук была роботизированная нейрореабилитационная система под названием MIT-MANUS. Он создавался для восстановления подвижности рук в таких направлениях, как: горизонтальное движение плечевого сустава, вертикальные движения плечевого сустава, сгиб в локтевом суставе, сжатие-разжатие кисти.

Реабилитация нижних конечностей

Развитие роботов для реабилитации нижних конечностей началось с изобретения робота для восстановления двигательной способности ног под названием PAM/POGO. Этот комплекс позволял совершать повторяющиеся движения для восстановления подвижности ног.

Следующей ступенью был робот LOPES, который мог помимо обычных повторяющихся упражнений производить считывание своего положения и нагрузки, которая производится на ногу, а также изменять темп ходьбы, длину шага и всё это записывать, а затем улучшать свои движения (система feedback).

Один из новейших роботов для реабилитации нижних конечностей – LokomatPro. Данный экзоскелетный роботизированный комплекс совмещает в себе локомоторную терапию, объективную оценку состояния пациента с помощью расширенных инструментов обратной связи и виртуальной реальности. Данный комплекс также может

использоваться для пациентов, находящихся в инвалидном кресле при помощи специальных фиксаторов.

Оценка программы тренировок производится с помощью системы Levi – системы разгрузки веса тела пациента, которая способствует созданию условий для более физиологической ходьбы и оптимальной сенсорной стимуляции. Также робот LocomatPro поддерживает модуль FreeD (модуль свободного перемещения таза), который позволяет осуществлять свободные перемещения таза пациента, имитируя боковые смещения, повороты таза и фазы переноса веса тела пациента с одной ноги на другую для воспроизведения естественной походки.

Новейшие разработки в области ЭМГ

СИСТЕМА ЭМГ/ВП VIKING EDX

Новейшая система ЭМГ **Nicolet EDX**. Американская компания Nicolet Biomedical вот уже 40 лет лидирует на мировом рынке медицинского оборудования для нейрофизиологической диагностики и мониторингирования функционального состояния нервной системы. Новый цифровой усилитель обеспечивает высокую скорость передачи данных при значительном снижении уровня аналоговых шумов.

Автоматизированные функции Nicolet EDX

Система отличается широким выбором множества гибко программируемых автоматических функций, организованных по клиническому принципу. Одним нажатием кнопки может быть загружен набор протоколов различных методик (ЭМГ, ВП, ЭНМГ), предназначенных для исследования какой-либо патологии. Так, например, можно загрузить автоматизированные тесты для диагностики: синдрома запястного канала, поражения плечевого сплетения, синдрома выхода из грудной клетки. Кроме того, предусмотрены широкие возможности для самостоятельного создания протоколов диагностики различных заболеваний.

Анатомическая база данных

Мощная обучающая и справочная система позволяет получать всеобъемлющую информацию в графическом и текстовом виде по отдельным мышцам и нервам, корешковой иннервации. С помощью гибкого интерфейса Вы можете легко настроить анатомическую базу данных под Ваши конкретные нужды. Вы можете выбрать систему нужной Вам конфигурации, включив в нее комбинацию необходимых методик для неврологии, отоларингологии/аудиологии, офтальмологии, эпилептологии психиатрии, реабилитации, реаниматологии, сосудистой хирургии, нейрохирургии, ортопедии.

Особенности Nicolet EDX:

- компактный базовый блок со встроенным электрическим и слуховым стимулятором;
- встроенный высококачественный динамик;
- подключение к нескольким стимуляторам и другим устройствам;
- 1 или 2 электрических стимулятора;
- зрительный стимулятор (опционально);
- количество активированных каналов усилителя от 2-х до 8;
- усовершенствованная технология включает усилители и АТ2 и АТ2 +6
- два различных по эргономике и функциональности электрических стимулятора.

Вывод

ЭМГ безусловно на данный момент является самым распространенным методом считывания нейронных импульсов и преобразования их в электрический сигнал. Данная технология используется для выявления множества нейронных заболеваний. Электромиография используется даже в роботах, с помощью неё можно преобразовывать нервный сигнал в электрических и управлять какой-либо системой посредством нервных

сигналов. При всей своей повсеместной распространённости данная система не идеально и у неё есть свои достоинства и недостатки.

Достоинства:

- ЭМГ является хорошо изученным и проверенным методом диагностики;
- не требует предварительной подготовки;
- может проводиться неоднократно;
- отсутствие сильных болей во время и после процедуры (процедура сопровождается легким покалыванием).

Недостатки:

- достаточно длительная процедура (от получаса до часа);
- диагностика достаточно информативна только в комплексе с иными обследованиями;
- при использовании игольчатых электродов возможны неприятные ощущения;
- противопоказано людям с нервными расстройствами и проблемами со свертываемостью крови (при игольчатой ЭМГ).

Данная система является знаковой для изучения периферического нейромоторного аппарата и медицины в целом.

1. Гехт Б.М. Теоретическая и клиническая электромиография. -Ленинград:Наука, 1990.-230с.
2. Модель эмг. Изучение принципов работы электромиографа.-Тула: ТУЛАНАУЧПРИБОР,2012.-59с.
3. Эрхан А. Разработка и контроль лечебного робота-тренажера для реабилитации нижних конечностей. - Турция:Мехатроника и инженерия,2011.-509с.

Смоленцева Т.Е.

Анализ поведения параметров, влияющих на функционирование сложных систем
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»
(Россия, Липецк)

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-13

idsp: sciencerussia-10-12-2018-13

Аннотация

В работе рассмотрены параметры оказывающие влияние на поведение сложных организационных систем. Выявлены факторы, без учета которых невозможно корректно проводить оптимизацию структур организационных сложных систем. На основе выводов полученных при анализе рассмотренных вопросов проведена оценка процесса функционирования иерархических сложных систем.

Ключевые слова: уровень интенсивности функционирования, напряженность функционирования, иерархические многоуровневые организационные системы.

Для анализа функционирования и формирования структурных элементов рассматриваемых сложных систем необходимо:

- определить вид системы (организационные, экономические, технические);
- степень иерархичности системы;
- уровень масштабности задач;
- определить множество процедур, на основе которых осуществляется решение задач;
- время, требуемое на решение задач;
- объект воздействия (внешний, внутренний);
- на основе чего осуществляется формализация;

— - вид информации.

Определение целей является основой для эффективного функционирования систем. В свою очередь цели определяют стратегию и тактику управления этой системой, формируют структуру, которая предполагает разработку СУ-системы управления и ОУ – объект управления.

Семиотический подход, можно применять, когда о среде управления имеются частичные данные, а устанавливается взаимосвязь между множеством параметров и средой управления. В динамике формируются множества $\{v\}$ (где v – множество способов разбиения на классы состояний ИМОС $V=\{v_1, v_2, \dots, v_k\}$) и $\{M\}$ (где $\{M\}$ – множество математических моделей поиска управленческих решений при множестве математических моделей поиска решений).

Процесс разработки ИСС будет более объективным, если имеются статистические данные о ее функционировании, если таких данных нет, то привлекаем экспертов. Классическое решение проблемы: теория принятия решения, теория игр.

Оценку процесса функционирования иерархических сложных систем (ИСС) необходимо осуществлять по нормативным параметрам $x^H(t)$ в момент времени t . Некоторые цели, определенные на основе нормативных документов, являются базовыми и актуальными параметрами $x^d_i(t), j \in v^d$ по которым и производится анализ функционирования ИСС [1,2]. На микроуровне функционирование элементов рассматриваемых систем с их нормативными параметрами могут корректироваться по их интенсивности функционирования.

Для определения необходимой меры пространства нормативов $x^H(t)$ требуется отслеживать динамику изменения этих нормативов, в момент планирования $t - \Delta t$ за счет скорости изменения параметра $s_{ij}(t - \Delta t), i = 1, n; j = 1, m$ у каждого элемента $s_{ij}(t - \Delta t)$ и предположим, что скорость изменения параметра j в течение Δt не меняется.

Уровень интенсивности функционирования (УИФ) для достижения норматива x^H_{ij} описывается выражением

$$\Phi_{ij}^H(t) = (x_{ij}^H(t) - x_{ij}(t - \Delta t)) / s_{ij}(t - \Delta t) \quad (1)$$

Считаем, что Φ_{ij}^H есть напряженность функционирования (НФ) по соответствующим параметрам. УИФ значения i -го элемента по j -му параметру определяется выражением:

$$\Phi_{ij}(t) = (x_{ij}(t) - x_{ij}(t - \Delta t)) / s_{ij}(t - \Delta t). \quad (2)$$

Процесс функционирования будет устойчивым, тогда когда значения параметров этой системы будут иметь предельные значения, а также необходимо определить максимальную функцию $\Phi_i^*(t)$, которая не должна превышать значения УИФ $\Sigma \Phi_{ij}^H(t)$ и вычислять нормативы на основе выражения[3]:

$$\sum_{j=1}^m \Phi_{ij}(t) = \Phi_i^0(t), \quad j = 1, m; \quad i = 1, n. \quad (3)$$

где $\Phi_i^0(t)$ есть оценки $\Phi_i^*(t)$ определяемые экспертным путем на основе уровня напряженности функционирования соответствующих элементов иерархических систем в момент планирования $t - \Delta t$. [2,4]

Значения параметров $x^H(t)$ необходимо ограничить или на основе экспертных оценок или значений каждого параметра x_{ij} , любой из которых имеет максимальное значение $x_{ij}^{\max}(t)$ на рассматриваемом временном интервале.

Для базовых нормативов существуют ограничения

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^H(t) = x_j^d, \quad j \in v^d. \quad (4)$$

В этом случае значения нормативов $x^H(t)$ при сформированных ограничениях определяются, максимизацией критерия эффективности организационных систем, который оценивается суммарным уровнем НФ:

$$\Phi_j = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Phi_{ij}^H(t). \quad (5)$$

На основе полученных результатов пришли к выводу о том, что функционирование организационных иерархических сложных систем будет устойчивым, в случае, когда все рассматриваемые параметры будут принимать предельные значения.

1. Замятина, О.М. Моделирование систем / О.М. Замятина // Издательство ТПУ.–2009.–с. 204.
2. Жиликов Е.Г. Компьютерная кластеризация совокупности аддитивных математических моделей взаимосвязанных процессов / Е.Г. Жиликов, В.А. Ломазов, В.И. Ломазова // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. – 2011. – Вып.1. – С. 115-119.
3. T E Smolentseva, Mathematical Models to Determine Stable Behavior of Complex Systems / V I Sumin, A V Dushkin, T E Smolentseva// International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1015 (2018) 032136.
4. Смоленцева Т.Е. Формирование структуры иерархических многоуровневых организационных систем// Сумин В. И., Смоленцева Т.Е./ Информационные технологии.- 2017, Москва. Издательство «Информационные технологии», том №23, №6 стр. 476-480.

Смоленцева Т.Е.

Применение иерархических структурных моделей для оптимизации распределения задач

*ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»
(Россия, Липецк)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-14

idsp: sciencerussia-10-12-2018-14

Аннотация

В работе рассмотрен процесс формирования сложных структурных моделей. Проанализирована эффективность применения А-схем при формировании моделей. Рассмотрен вопрос распределения функциональных задач в иерархических сложных системах. На основе выводов полученных при анализе поставленных вопросов проведена оценка равновесного распределения функциональных задач между сотрудниками рассмотренной системы.

Ключевые слова: равновесное распределение, функциональные задачи, многоуровневые структурные модели.

Существующие системы моделирования обладают очень фиктивного возможностями в процессе математических происходит решения, однако имеют ряд существенных ограничений, не параметрами эффективно может весь спектр стоящих перед ними задач. В связи с этим всё большую значимость приобретает решение задачи по разработке принципов и виде построения систем таким сложных технических объектов, удовлетворяющих требованиям к выдаваемым инструментарию пяти.

Применение обобщенной математической схемы моделирования, т.е. А – схемы объекта являться тем времени, на котором базируется таким многоуровневых моделей. Стандартная описания представления исследуемого процесса в виде А-схемы приводит к унификации не только алгоритмов имитации, но и к возможности применять стандартные методы обработки и анализа результатов моделирования системы S.

Рассмотренные примеры использования типовых математических схем позволяют формализовать достаточно широкий класс больших систем, с которыми приходится иметь дело на практике.

Приведем пример распределения функциональных задач в иерархической структурной модели (ИСМ) (общее количество σ) между сотрудниками иерархической сложной системы (ИСС) (общее количество M) на основе выражения:

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, M, \quad \sum_{j=1}^M x_j = \sigma. \quad (1)$$

где: x_j - функциональные задачи j -го сотрудника ИСС.

Если выражение (1) не справедливо, тогда необходимо распределить функциональные задачи между сотрудниками ИСС пропорционально идеальному распределению $\{x_j^0\}$ и поэтому выражение (1) примет вид:

$$x_j = c \cdot x_j^0, \quad c = \sigma / \sum x_j^0. \quad (2)$$

Если сотрудники ИСС разбиты на σ не пересекающихся множеств (групп) и каждому элементу этого множества принадлежит одинаковый объем функциональных задач и со своими ограничениями, тогда можно записать выражение:

$$\sum_{j \in M} x_j = \sigma_k, \quad k = \overline{1, e}, \quad (3)$$

Требуется последовательно использовать ограничения (3), нормируя каждый раз ту часть вектора $\{x_j\}$, которая входит в очередное ограничение. Задавая начальное значение векторов, $x_j = x_j^0$ и осуществляя, последовательный перебор всех ограничений для каждого из них, считаем, что

$$c_k = \sigma_k / \sum_{j \in M_k} x_j. \quad (4)$$

тогда получим

$$x_i = c_k \cdot x_i, \quad j \in M_k. \quad (5)$$

Для выражения (5) полагаем, что первоначальные значения элементов множества (энтропийное или равновесным распределение) $\{x_j\}$ равняется $x_j = x_j^0$, где x_j^0 есть начальное значение x_j , такой циклический подход называется методом балансировки. С использованием этого метода происходит максимизация выражения (3) (взвешенная энтропия):

$$\sum_{j=1}^M x_j * \ln \left(\frac{x_j^0}{x_j} \right) \rightarrow \max \quad (6)$$

Равновесное распределение должно иметь следующие свойства [1,3]:

1. Выражения (1) - (6) определяют Энтропийную разверстку, и она зависит от x_j^0 , а также от правых частей ограничений (3) к тому же она является внутренней точкой многогранника допустимых решений.

2. Умножая вектор правых частей (3) и вектора $\{x_j^0\}$ на скаляр приводит к умножению разверстки на тот же скаляр.

3. Фиксация переменной x_{jl} на уровне x_{jl}^* не приводит к изменению пропорций разверстки, вычисленной для остальных $j \in M$.

При равновесном распределении напряженности и с заданным критерием планирования можно использовать энтропийные модели [2] и оценивая величину суммарной напряженности выражением

$$\Phi = \Phi_1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Phi_{ij}^H(t) \ln(\Delta t / \Phi_{ij}^H(t)) \quad (7)$$

где $\{\Phi_{ij}^H(t)\}$ энтропийная функция распределения интенсивности функциональных задач между сотрудниками ИСС, а Φ есть энтропийная функция.

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Phi_{ij}^H(t) \ln(e \Delta t / \Phi_{ij}^H(t)), \quad (8)$$

Так как градиент Φ равен нулю в точке $\Phi_{ij}(t) = \Delta t$, $j=1, m$; $i=1, n$, тогда при максимизации (8) получается равномерное распределение уровней интенсивности $\Phi_i^0(t)$.

Задача максимизации энтропийной функции (8) с ограничениями:

$$\sum_{j=1}^m \Phi_{ij}^H(t) = \Phi_i^0(t), \quad i = 1, n,$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^H(t) = x_j^d, \quad j \in Z^d,$$

которые для основных переменных можно представить выражением:

$$\sum_{i=1}^n \hat{O}_{ij}^H(t) = \frac{x_j^d - \sum_{i=1}^n x_{ij}(t - \Delta t)}{s_j(t - \Delta t)}, \quad j \in V^d, \quad (9)$$

можно использовать эффективные алгоритмы решения методом балансировки переменных по ограничениям [3].

В результате рассмотрения иерархических структурных моделей пришли к выводу, что при равновесном распределении напряженности и с заданным критерием планирования можно использовать энтропийные модели и оценивать величину суммарной напряженности.

1. Замятина, О.М. Моделирование систем / О.М. Замятина // Издательство ТПУ. – 2009. – с. 204.
2. Смоленцева Т. Е., Лаврухина Т.В. Анализ эффективности модели управления иерархическими многоуровневыми организационными системами. – XXI международная научно – практическая конференция Современные сложные системы управления т. 1 25-27 октября 2017 с. 153-158
3. Смоленцева Т.Е. Формирование модели управления иерархическими многоуровневыми организационными системами // Сборник научных трудов международной научно – технической конференции. Проблемы и перспективы развития машиностроения, 2016. – с. 235-238.

Цалько Т. В., Колесникова О.А., Есипов Ю.В., Черемисин А.И.
Идентификация, оценка и управление рисками на предприятиях пищевой промышленности

*Донской государственный технический университет
 (Россия, Ростов-на-Дону)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-15

idsp: sciencerussia-10-12-2018-15

Аннотация

В статье показана методика оценки риска, применяющаяся на многих предприятиях пищевой промышленности, основанная на балльной системе определения вероятности воздействия, что не всегда является обоснованным.

Для уточнения предлагается логико-возможностный подход определения показателей безопасности и риска многофакторных и многосвязных систем различной природы.

Ключевые слова: Оценка риска, вероятность возникновения происшествия, моделирование технических систем, логико-возможностный подход.

На предприятиях пищевой промышленности, как и на многих других, при оценке и управлении рисками не достаточно уделяется внимание качественному анализу свойств сложных технических систем. Часто в стандарты предприятия для обоснования и обеспечения безопасных условий труда включаются методики, основанные на рейтингах и балльных оценках, в которых не учитываются нерегламентированные факторы, взаимное влияние потенциально опасных объектов, их физико-химические свойства и связи между ними.

На предприятиях выполнение оценки рисков не является разовым действием. Первоначально оценка рисков должна быть составлена при внедрении системы менеджмента охраны здоровья и профессиональной безопасности.

При идентификации опасностей и оценке рисков менеджеры подразделений осуществляют следующие шаги (ключевые этапы процесса оценки рисков):

1. выделение всех рабочих мест, видов деятельности и их группировка.
2. идентификация опасностей;
3. виды работ, выполняемые операции, шаги операции
4. идентификация контингента лиц, который может подвергнуться опасности;
5. анализ риска повреждений здоровья от действия опасного или вредного фактора и идентификация всех значимых рисков;
6. описание средств контроля
7. эффективность применяемых средств контроля
8. описание действий по снижению риска
9. переоценка риска (рейтинг R) после мероприятий по его снижению;
10. мероприятия по предотвращению увеличения риска и его контролю;
11. доведение значимых рисков до сведения работников.

Производится анализ риска повреждений здоровья от действия опасностей и идентификация всех значимых рисков. При этом риск определяется без учета каких-либо мероприятий, способных снизить данный риск.

Риск определяется следующими факторами:

- * частотой выполняемых операций (A) – частота выполнения действия, при котором возможно воздействие опасного или вредного производственного фактора,
- * тяжестью воздействия (B) – тяжесть возможных травм,
- * численностью подверженных воздействию опасного или вредного производственного фактора (C), одновременно занятых на рабочем месте
- * вероятностью (D) происшествия

Каждой опасности присваивается балл (от 1 до 5 баллов) в зависимости от ее критичности (см. Таблицу 1).

Таблица 1

Таблица балльности для оценки рисков

Частота выполняемых операций (А)	Тяжесть воздействия (В)	Численность подверженных (С)	Вероятность воздействия (D)	Критичность в баллах
Очень редко (1 раз в год или реже)	Отсутствует нетрудоспособность	1-2 человека	Маловероятно (может произойти при исключительных обстоятельствах)	1
Редко (более 1 раза в квартал)	Легкая степень (продолжительность нетрудоспособности до 21 дня)	3-7 человек	Редко (может произойти иногда)	2
Случайно (более 1 раза в месяц)	Легкая степень (продолжительность нетрудоспособности свыше 21 дня)	8-15 человек	Возможно (происходит время от времени)	3
Часто (более 1 раза в смену)	Тяжелая степень нетрудоспособности или профзаболевание	16-50 человек	Вероятно (возможно почти всегда)	4
Постоянно (более 1 раза в час)	Смерть или инвалидность	50 и более человек	Очень вероятно (ожидается при любых обстоятельствах)	5

Для того чтобы оценить уровень риска (Рейтинг) в баллах, необходимо перемножить все составляющие:

$$R \text{ базовый} = A \times B \times C \times D$$

В зависимости от полученной оценки (рейтинга) рисков, необходимо проводить следующие действия:

Рейтинг (R)	Требуемые действия
51 и выше	Уровень 1. Требуется немедленные действия по управлению риском до тех пор, пока риск не исключен или не будет обеспечен соответствующий контроль.
от 11 до 50	Уровень 2. Предполагаются корректирующие действия для исключения риска или управления им.
до 10	Уровень 3. Регулярное контролирование необходимых мероприятий, установленных процедурами компании

Описание действий по снижению риска

Следующим шагом является описание управляющих действий по снижению риска, описывается что необходимо сделать (намечаются мероприятия, ответственные и сроки)

Если риск (R) от 11 до 50, то предполагаются корректирующие действия для исключения риска или управления им.

Если риск равен или выше 51, то требуются немедленные действия по исключению риска или обеспечения соответствующего контроля.

Таблица 2

Пример методики определения риска

Зона	Операция	Опасность, возникающая при выполнении операции	Базовый риск				
			Частота	Тяжесть	№ людей	Вероятность	Баллы риска
Комната химии	Загрузка химическими реагентами	Химический ожог	5	4	1	3	60
		Заболевание органов дыхания	5	4	1	2	40
		Отравление в результате аварийного разлива	5	5	1	2	50

Исходя из таблиц 1 и 2 обоснование вероятности воздействия не очевидно.

Предлагается в качестве дополнения и уточнения меры определенности рассмотреть логико-возможностный способ определения показателей безопасности и риска многофакторных и многосвязных систем различной природы.

Пусть известно, что из окружающей среды на объект и внутри объекта могут действовать опасные и поражающие (вредные) факторы. Под параметрами факторов в данной работе будем понимать процессы (функции от времени), которые в общем случае имеют нечеткие значения (вследствие неточной и (или) неполной информации) и задаются в виде следующих множеств:

$V = (v_{mtl})$ – множество нечетких параметров воздействий,

где v – зависящее от времени нечеткое значение параметра m вида, $m \in M$, характеризуемого функцией принадлежности $\mu_v(\lambda)$, и описывающего фактор t вида, $t \in T$, действующего от источника $l \in L$, причем $l = 0$ означает внешний источник (окружающую среду), а остальными источниками являются потенциально опасные элементы объекта.

Внешние факторы выделим во множество V^e , вторичные факторы – во множество V^i , тогда $V = V^e \cup V^i$.

Пусть известны защитные функции конструкции и средств безопасности объекта, которые в общем случае есть функции от времени и описаны нечетко из-за наличия погрешностей в их определении. Множество нечетких функций ослабления при передаче различных видов воздействий от источников непосредственно на входы (на конструкцию) каждого ПОЭ задается в виде

$F = (f_{mtlk})$ – множество нечетких функций ослабления воздействий в системе, где f – зависящее от времени нечеткое значение коэффициента ослабления, $f \in [0,1]$, описанного функцией принадлежности $\mu_f(v) \in [0,1]$, параметра m вида, представляющего t вид материального фактора, действующего от l источника на вход k ПОЭ.

Пусть возможность несанкционированного инициирования любого ПОЭ объекта описывается зависящими от времени нечеткими параметрами восприимчивости к инициированию (из-за неточной и неполной информации о них), выраженными в размерности воздействующих факторов, задаваемых в виде

$R = (r_{m t k})$ – множество нечетких параметров восприимчивости воздействий ПОЭ, где r – в общем случае зависящий от времени нечеткий параметр m вида, описываемый функцией принадлежности $\mu_r(\lambda)$, представляющий t вид фактора, который воспринимает k ПОЭ.

На основе ключевых множеств V, F, R , которые дают возможность на некотором периоде времени полностью описать возможные источники и предпосылки происшествий и элементарных отказов, дополнительно введем и опишем множества, позволяющие выявлять и ранжировать предпосылки опасности.

Введем множество S в общем случае нечетких параметров факторов, непосредственно действующих на входы (на конструкцию) ПОЭ объекта, в виде алгебраического умножения

$$S = (s_{m t l k}), \text{ где } s_{m t l k} = v_{m t k} \cdot f_{m t l k},$$

для $\forall m \in M, t \in T, l \in L, k \in K$.

Кроме того, введем множество B нечетких пересечений параметров воздействия и восприимчивости такое, что

$$B = (b_{m t l k}), \text{ где } b_{m t l k} = s_{m t l k} \cap r_{m t k},$$

для $\forall m \in M, t \in T, l \in L, k \in K$.

Если на совокупности множеств $\{V, F, R, S, B\}$ задать операции, которые с позиции происшествия описывают связи источников и их предпосылок между собой, и назвать это объединение *базисом* множеств, то на основе такого базиса достижимо выражение всех возможных причин и предпосылок опасности.

Таким образом, построив функцию связности и проведя расчеты вероятности возникновения происшествия, получим более точное значение риска, что в свою очередь позволит принять обоснованные мероприятия по обеспечению безопасных условий труда на предприятии.

1. Модели и показатели техносферной безопасности: монография / Есипов Ю.В., Мишенькина Ю.С., Черемисин А.И. М.: ИНФРА-М, 2018. – 154с.
2. Рябинин И.А. Надежность и безопасность сложных систем. СПб.: Политехника, 2000. -248с.
3. Гаенко В.П. Современные методы анализа и оценки безопасности сложных технических систем. СПб.: Изд. НИЦ БТС. 2004. 212 с.
4. Gaenko V.P. Modern methods of analysis and evaluation of safety of complex technical systems. SPb.: Publisher Scientific - Research Center of Technical Safety Systems. 2004. 212 p. (in Russian)
5. Есипов Ю.В., Самсонов Ф.А., Черемисин А.И. Мониторинг и оценка риска систем «защита – объект – среда». М.: Изд. ЛКИ – УРСС. 3 изд., 2013. 138 с.
6. Esipov Yu.V., Samsonov F.A., Cheremisin A.I. Monitoring and risk assessment systems “protection - object – environment” Moscow, Publisher LKI-URSS. 3 publ., 2013. 138 p. (in Russian)
7. Махутов Н. А. Особенности статистических подходов при оценке статической прочности // Безопасность в техносфере, №2 (март–апрель), 2014, с. 3-11
8. Mahutov N.A. Features of statistical approaches in the evaluation of static strength. Bezopasnost' v tekhnosfere. 2014. V. 3, I. 2: p. 3-11. DOI: 10.12737/3669 (in Russian)
9. Махутов Н.А., Резников Д.О. Использование сценарного анализа для оценки прочностной надежности сложных технических систем // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2015. №1. С. 5–13
10. Mahutov N.A., Reznikov D.O. Use scenario analysis to evaluate the strength reliability of complex technical systems // Problems of mechanical engineering and automation . 2015. V.1. p. 5-13 (in Russian)
11. Есипов Ю.В. Концепция возможностной оценки риска техногенных систем // Автоматика и Телемеханика. № 7. 2003. С. 5 – 11
12. Esipov Yu.V. The concept of risk possibility assessment of technological systems // Automation and Remote Control. V. 7. 2003. p. 5 – 11 (in Russian)
13. Есипов Ю.В. Моделирование опасностей и установление меры определенности происшествия в системе. Проблемы машиностроения и надежности машин. № 3. 2003. С. 112 – 117

Цгоев Т.Ф., Теблов Р.А.

Создание комплексной энергосистемы для использования в высокогорных малых населенных пунктах в условиях РСО-Алания*Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-16

idsp: sciencerussia-10-12-2018-16

Аннотация

В статье рассматриваются традиционные и нетрадиционные виды энергетики. Особое внимание уделено экологическим проблемам традиционных видов энергетики. Рассматривая все направления нетрадиционной энергетики авторами для малых горных сел предложена комплексная малая гидроаккумулирующая система с использованием энергии не только малых рек, но ветра и солнца.

Ключевые слова: энергетика, экологические проблемы, нетрадиционная энергетика, турбина, генераторы, ветровые потоки, солнечная энергия.

Abstract

The article deals with traditional and non-traditional types of energy. Special attention is paid to environmental problems of traditional types of energy. Considering all directions of unconventional energy the authors propose a complex small hydroaccumulating system for small mountain villages with the use of energy not only of small rivers, but also of wind and sun.

Keywords: energy, environmental problems, unconventional energy, turbine, generators, wind flows, solar energy.

Введение (Introduction). Электроэнергетика — это подсистема энергетики, охватывающая производство электроэнергии на электростанциях и её доставку потребителям по линии электропередачи. Центральными её элементами являются электростанции, которые принято классифицировать по виду используемой первичной энергии и виду применяемых для этого преобразователей. Необходимо отметить, что преобладание того или иного вида электростанций в определённом государстве зависит в первую очередь от наличия соответствующих ресурсов [1]. Электроэнергетику принято делить на *традиционную* и *нетрадиционную*.

Основную долю электроэнергии во всём мире получают именно на *традиционных электростанциях*, которая делится на несколько направлений, в том числе на Тепловую энергетику, Гидроэнергетику и Ядерную энергетику.

Доля различных источников в мировом производстве электроэнергии представлена в таблице 1.

Таблица 1

Доля различных источников в производстве электроэнергии

Годы	Уголь	Природ. газ	ГЭС	АЭС	Нефть	Прочие	Всего
1973	38,3 %	12,1 %	20,9 %	3,3 %	24,8 %	0,6 %	6 131 ТВт·ч
2015	39,3 %	22,9 %	16,0 %	10,6 %	4,1 %	7,1 %	24 255 ТВт·ч

Сжигание топлива - не только основной источник энергии, но и важнейший поставщик в среду загрязняющих веществ. ТЭС в наибольшей степени «ответственны» за усиливающийся парниковый эффект и выпадение кислотных осадков [2]. В выбросах ТЭС содержится значительное количество металлов и их соединений. При пересчете на смертельные дозы в годовых выбросах ТЭС мощностью 1 млн. кВт содержится алюминия и его соединений свыше 100 млн. доз, железа-400 млн. доз, магния -1,5 млн. доз.

ТЭС – существенный источник подогретых вод, которые используются здесь как охлаждающий агент. Эти воды нередко попадают в реки и другие водоемы, обуславливая их тепловое загрязнение и сопутствующие ему цепные природные

реакции (размножение водорослей, потерю кислорода, гибель гидробионтов, превращение типично водных экосистем в болотные и т. п.).

Ядерная энергетика до недавнего времени рассматривалась как наиболее перспективная. Это связано как с относительно большими запасами ядерного топлива, так и со щадящим воздействием на среду. К преимуществам относится также возможность строительства АЭС, не привязываясь к месторождениям ресурсов, поскольку их транспортировка не требует существенных затрат в связи с малыми объемами. Достаточно отметить, что 0,5 кг ядерного топлива позволяет получать столько же энергии, сколько сжигание 1000 тонн каменного угля.

При нормальной работе АЭС выбросы радиоактивных элементов в среду крайне незначительны, но после 1986 г. (авария на Чернобыльской АЭС) главную экологическую опасность АЭС стали связывать с возможностью аварий. По различным данным, суммарный выброс продуктов деления от содержащихся в реакторе составил от 3,5% (63 кг) до 28% (50 т). Для сравнения отметим, что бомба, сброшенная на Хиросиму, дала только 740 г радиоактивного вещества.

В процессе ядерных реакций выгорает лишь 0,5-1,5% ядерного топлива, остальная часть превращается в отходы. Часть этих отходов подвергается переработке, а основная масса требует захоронения. *Технология захоронения* довольно сложна и дорогостояща. Отработанное топливо обычно перегружается в бассейны выдержки, где за несколько лет существенно снижается радиоактивность и тепловыделение. Захоронение обычно проводится на глубинах не менее 500-600 шурфах. Последние располагаются друг от друга на таком расстоянии, чтобы исключалась возможность атомных реакций.

Неизбежный результат работы АЭС – тепловое загрязнение. На единицу получаемой энергии здесь оно в 2-2,5 раза больше, чем на ТЭС, где значительно больше тепла отводится в атмосферу. Выработка 1 млн. кВт электроэнергии на ТЭС дает 1,5 км³ подогретых вод, на АЭС такой же мощности объем подогретых вод достигает 3-3,5 км³.

Следствием больших потерь тепла на АЭС является более низкий коэффициент их полезного действия по сравнению с ТЭС.

Экологические проблемы гидроэнергетики. Одно из важнейших воздействий гидроэнергетики связано с отчуждением значительных площадей плодородных (пойменных) земель под водохранилища.

Значительные площади земель вблизи водохранилищ испытывают подтопление в результате повышения уровня грунтовых вод. Эти земли, как правило, переходят в категорию заболоченных. В равнинных условиях подтопленные земли могут составлять 10% и более от затопленных. Уничтожение земель и свойственных им экосистем происходит также в результате их разрушения водой (абразии) при формировании береговой линии. Абразионные процессы обычно продолжаются десятилетиями, имеют следствием переработку больших масс почвогрунтов, загрязнение вод, заиление водохранилищ.

В водохранилищах резко усиливается прогревание вод, что интенсифицирует потерю ими кислорода и другие процессы, обусловливаемые тепловым загрязнением. Нарушаются пути миграции рыб, идет разрушение кормовых угодий, нерестилищ и т. п.

В конечном счете, перекрытые водохранилищами речные системы из транзитных превращаются в транзитноаккумулятивные. Кроме биогенных веществ, здесь аккумулируются тяжелые металлы, радиоактивные элементы и многие ядохимикаты с длительным периодом жизни.

Цель исследования (Purpose of research). Издержки гидростроительства для среды заметно меньше в горных районах, где водохранилища обычно невелики по площади. Однако в сейсмоопасных горных районах водохранилища могут провоцировать землетрясения. Увеличивается вероятность оползневых явлений и вероятность катастроф в результате возможного разрушения плотин. Поэтому поиск альтернативных источников энергии в горных территориях является актуальной задачей для специалистов в области экологии и энергетики.

Результаты исследований (Research result). На территории РСО-Алания в связи с наличием горного рельефа, обладает значительным гидроэнергетическим

потенциалом в настоящее время имеются 6 ГЭС, в том числе: Гизельдонская (мощностью – 22,8 МВт), Дзауджикауская (8 МВт), Фаснальская (6,4 МВт), Павлодольская (2,64 МВт), Беканская (0,504 МВт) и Кора-Урсдонская (0,63 МВт). Кроме того, имеются строящиеся и проектируемые малые ГЭС, том числе Зарамагские, Билягидонская, Геналдонская, Даргавская, Дзуарикауская, Фиагдонская и Дигорская [3].

В связи с указанными недостатками традиционной электроэнергетики на современном этапе развития производительных сил особое значение придается **нетрадиционной электроэнергетике**.

Большинство направлений нетрадиционной электроэнергетики основаны на вполне традиционных принципах, но первичной энергией в них служат либо источники локального значения, например, ветряные, геотермальные, либо источники находящиеся в стадии освоения, например, топливные элементы или источники, которые могут найти применение в перспективе, например, термоядерная энергетика. Характерными чертами нетрадиционной энергетике являются их экологическая чистота, чрезвычайно большие затраты на капитальное строительство и малая единичная мощность.

Выделяют следующие направления нетрадиционной энергетике: *ветровая энергетика, геотермальная энергетика, солнечная энергетика, биоэнергетика, установки на топливных элементах, водородная энергетика, энергия океана, термоядерная энергетика и геотермия.*

К сожалению, в РСО-Алания кроме использования гидроэнергии малых рек по другим направлениям нетрадиционной энергетике работы не ведутся. Прежде всего, речь идет об использовании солнечной, ветряной и геотермальной энергий.

В связи с этим в данной работе предлагается один из вариантов использования в комплексе альтернативных видов энергетике в горных условиях РСО-Алания. Данный проект основан на идее объединения нескольких нетрадиционных источников энергии в единую энергосистему. В основе такой системы лежит одновременное использование ветрового и водяного потоков для получения вращающего момента на вал генератора тока, а также использование солнечного излучения для подзарядки аккумуляторов через солнечные батареи. Разрабатываемая установка имеет обозначение ВЕВОС-ГОРН-0020. Аббревиатура составлена из первых букв используемых источников: ветер, вода и солнце. «ГОРН» кодовое наименование. А цифровой индекс – это обозначение номинальной мощности установки, в данном проекте это 20 кВт.

Горные территории Северного Кавказа, в частности Северной Осетии, являются наиболее подходящими для реализации подобного проекта по следующим причинам:

- Скорость ветра, необходимая для вращения лопастей ветряка составляет 4м/с и более
- Напор воды в горных реках также позволяет использовать работу воды для вращения лопастей
- Количество солнечной радиации на квадратный метр достаточно для подпитки аккумуляторов

Рис. 2. Турбина Дарье

Проектируемая энергосистема представляет собой гибридную установку, состоящую главным образом из двух синхронных генераторов, которые приводятся во вращение лопастями под силой ветряного потока и напором воды в речном потоке [4].

Генераторы установлены на железобетонном фундаменте. Ротор первого генератора через цилиндрический редуктор соединен с главным валом ветряка, которым и приводится во вращение. Второй генератор соединен с валом гидротурбины также редуктор с высоким передаточным числом.

Солнечная батарея в этой системе используется для подзарядки аккумуляторов. Это необходимо для того, чтобы в случае аварийной остановки работы обоих генераторов потребитель не оставался без электроэнергии. Переключение на потребление от аккумуляторов осуществляется с помощью реле контроля напряжения, то есть при падении напряжения на выходе генераторов срабатывает датчик, и система начинает подавать накопленный в этих аккумуляторах заряд потребителю. Такой подход делает работу установки ВЕВОС практически бесперебойной [5].

Рис. 2. Схема установки ВЕВОС-ГОРН-0020

Лопастей ветряка представляют собой турбину Дарье (рис. 2). Это тип турбины низкого давления, ось вращения которой перпендикулярна потоку жидкой или газовой среды. Предложена в 1931 году французским авиаконструктором Жоржем Дарье. Ротор Дарье представляет собой симметричную конструкцию, состоящую из двух и более аэродинамических крыльев, закреплённых на радиальных балках. На каждое из крыльев, движущихся относительно потока, действует подъёмная сила, величина которой зависит от угла между вектором скорости потока и мгновенной скорости крыла. Работа ротора Дарье не зависит от направления потока. Следовательно, турбина на его основе не требует устройства ориентации. Ротор Дарье характеризуется высоким коэффициентом быстроходности при малых скоростях потока и высоким коэффициентом использования энергии потока.

Схематически установка **ВЕВОС-ГОРН-0020** представлена на рис. 2.

В соответствии со СНиП 2.01.07-85 [2] расчет ветровой нагрузки, действующей на опору производится по следующему порядку:

1. Определим величину расчётного скоростного напора:

$$Q_p = q'_n \cdot n \cdot k = 25 \cdot 1,3 \cdot 1 = 32,5 \text{ даН/м}^2.$$

Где $q'_n = 100 \cdot 25\% = 25$ декаН/м² – скоростной напор ветра (III район)

$n = 1,3$ – коэффициент перегрузки для высотных сооружений;

$k = 1$ – поправочный коэффициент изменения скоростного напора, зависящий от высоты и типа местности

2. Коэффициент лобового сопротивления для пространственной четырёхгранной фермы при направлении ветра на грань:

$$C_x^{пр} = C_x (1 + m) = 1,4 \cdot (1 + 0,3) = 1,82 ,$$

где: $C_x = 1,4$ – аэродинамический коэффициент для плоской фермы; $m = 0,3$ – коэффициент увеличения давления ветра на подветренную грань, зависящий от типа решётки.

3. Площадь проекции опоры на плоскость, перпендикулярную направлению ветра:

$$S = S_{\text{прям}} + S_{\text{трап}} \cdot \sin(90^\circ - \gamma) ,$$

где: $S_{\text{прям}} = 3 \cdot h_1 = 3 \cdot 6 = 18 \text{ м}^2$ – площадь проекции прямоугольной части;

$$S_{\text{трап}} = \frac{3+2}{2} \cdot h_2 = 2,5 \cdot 8 = 20 \text{ м}^2 \text{ – площадь проекции трапециевидной части;}$$

$$\operatorname{tg} \alpha \frac{2+3}{2} = 0,0625 \Rightarrow \alpha = 3,5763 \text{ – угол наклона боковой стороны трапеции к ветру.}$$

4. При этих значениях получим:

$$S = 18 + 20 \cdot \sin(90^\circ - 3,5763^\circ) = 37,54 \text{ м}^2.$$

Вычисляем давление ветра на опору:

$$W = Q_p \cdot \beta \cdot C_x^{np} \cdot \psi \cdot F = 32,5 \cdot 1,5 \cdot 1,82 \cdot 1,1 \cdot 18,77 = 1831,9 \text{ даН,}$$

где: $\beta = 1,5$ – коэффициент увеличения скоростного напора, учитывающий его динамичность и пульсацию;

$\psi = 1,1$ – поправочный коэффициент при действии ветра на ребро;

$F = \varphi \cdot S$ – расчётная площадь проекции конструкции по наружному обмеру на плоскость, перпендикулярную направлению ветра; здесь $\varphi \approx 0,5$ – коэффициент заполнения плоской фермы.

5. Интенсивность ветровой нагрузки

$$q_w = \frac{W}{h_1 + h_2} = \frac{1831,9}{14} = 130,8 \approx 131 \text{ даН/м.}$$

Принимаем $q_w = 131 \text{ даН/м.}$

Проведены расчеты скорости коэффициента использования энергии ветра, напора и расхода воды, количества потребления электроэнергии для одного дома.

Обсуждение (Discussion). Авторами [4] предложен перечень оборудования на установке ВЕВОС-ГОРН-0020, в том числе: 1) генератор синхронный ГС 250-20/4-Р (20 кВт), 2) сетевой фотоэлектрический инвертор SolarWorx GTI, 3) сетевой инвертор ФЭ модуль MSW-145(12), 4) гелевая аккумуляторная батарея Prosolar-R RA12-200DG, 5) цилиндрический редуктор Paramax® SFC Air Cooled Condenser Drives, 6) щит BPU1-17-70УХЛ4, предназначенный для приема, распределения и учета электроэнергии напряжением 380/220 В [6].

Технические характеристики установки ВЕВОС-ГОРН-0020 следующие: 1) номинальная мощность – 20,0 кВт; 2) пусковая скорость ветра – 4,0 м/с; 3) номинальная скорость ветра – 12,0 м/с; 4) максимальная рабочая скорость ветра 20,0 м/с; 5) буревая (расчетная по прочности) скорость ветра – 56 м/с; 6) высота опоры: – 15 м; 7) диаметр окружности вращения лопастей гидротурбины: – 4,0 м; 8) передаточное число редуктора: – 16.

Заключение (Conclusions). В работе [4] разработано создание энергоустановки, в которой объединены сразу три естественных источника получения электроэнергии (ветер, вода и солнце) без использования углеводородного топлива и других горючих материалов. В основу взяты энергия ветрового и водяного потоков, а также солнечного излучения. Главной особенностью данной установки является бесперебойность

электроснабжения. Эта задача была решена благодаря нестандартному применению и комбинированию всех составляющих энергосистемы ВЕВОС-ГОРН-0020. Благодаря этому себестоимость электроэнергии довольно низка и составляет 60 копеек за 1 кВт·ч

При этом капитальные вложения в строительство установки составляют 1 088 497 руб. При выработке 175200 кВт·ч в год, чистый экономический эффект составил 208 488 руб., а срок окупаемости 3,1 года. Полный экономический эффект от создания системы составил 6,8 доли. ед.

Несмотря на эти показатели по настоящее время ни один инвестор не откликнулся на предложенный проект, что говорит о низком уровне экологической политики в регионах страны.

1. Энергетика <https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергетика>
2. Дипломная работа на тему: «Создание альтернативной энергосистемы (ветер, солнечное излучение и речной сток) для хозяйственного использования в условиях горных регионов РСО-Алания». Студент кафедры техносферной безопасности СКГМИ (ГТУ) Иликов Г.В., руководитель Цгоев Т.Ф. 2012. – 82 с.
3. Малые ГЭС Северной Осетии. https://wiki2.org/ru/Малые_ГЭС_Северной_Осетии.
4. Иликов Г.В., Цгоев Т.Ф. Снижение негативного влияния на окружающую среду гидроэлектростанций созданием гидроаккумулирующих электро-станций, а также небольших ГЭС на малых реках. В трудах молодых ученых СКГМИ (ГТУ) – Владикавказ: Издательство «Терек», 2012г. С.227-233.
5. Беззубов, С. И. Солнечные батареи, сенсibilизированные красителем / С. И. Беззубов, В. Д. Долженко // Природа. – 2012. – № 6. – С. 45-50.
6. СПРАВОЧНИК «Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии». Под редакцией В.И.Виссарионова. – М.: Фирма ВИЭН. 2004.

Цгоев Т.Ф., Теблов Р.А.

Состояние и перспективы использование тепловых насосов в регионах России на примере РСО-Алания

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ)

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-17

idsp: sciencerussia-10-12-2018-17

Аннотация

В статье рассмотрены виды и принципы работы тепловых насосов, как альтернативных источников теплоснабжения и их преимущества по экологичности и экономичности перед другими видами источников энергии. Рассмотрен вариант применения теплового насоса типа «грунт-вода» для применения в домах одноэтажной застройки в сельских местностях РСО-Алания.

Ключевые слова: низкопотенциальное тепло, тепловой насос, тепло земли, коэффициент преобразования, коэффициент трансформации.

Abstract

The article deals with the types and principles of operation of heat pumps as alternative sources of heat supply and their pre-property on environmental friendliness and efficiency before other types of energy sources. The variant of application of the heat pump of type "soil-water" for application in houses of one-storeyed building in rural areas of RSO-Alania is considered.

Key words: low-grade heat, heat pump, ground source heat transformation ratio, transformation ratio.

Введение (Introduction). Основным направлением альтернативной энергетики является поиск и использование альтернативных (нетрадиционных) источников энергии. Одним из этих направлений является использование низкопотенциального

тепла земных природных ресурсов (воздуха, воды и почвы) на получение тепловой энергии с помощью тепловых насосов (ТН).

Тепловой насос – это устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой [1].

Целью исследования (Purpose of research) является изучение принципа работы теплового насоса на предмет применения и использования в сельской местности.

Результаты исследований (Research result). Теплонасосные технологии известны более 150 лет. Концепция тепловых насосов была разработана еще в 1852 году выдающимся британским физиком и инженером Уильямом Томсоном (Лордом Кельвином), а изобретателем теплового насоса считают австрийского инженера П. Р. фон Риттингера, который спроектировал и установил первый известный тепловой насос в 1855 году [2]. Но практическое применение ТН приобрел значительно позже, а точнее в 40-х годах XX столетия, когда изобретатель-энтузиаст Роберт Вебер экспериментировал с морозильной камерой. Однажды Вебер случайно прикоснулся к горячей трубе на выходе камеры и понял, что тепло просто выбрасывается наружу. Изобретатель задумался над тем, как использовать это тепло, и решил поместить трубу в бойлер для нагрева воды. В результате Вебер обеспечил свою семью таким количеством горячей воды, которое они физически не могли использовать, при этом часть тепла от нагретой воды попадала в воздух. Это подтолкнуло его к мысли, что от одного источника тепла можно нагревать и воду, и воздух одновременно, поэтому Вебер усовершенствовал свое изобретение и начал прогонять горячую воду по спирали (через змеевик) и с помощью небольшого вентилятора распространять тепло по дому с целью его отопления. Со временем именно у Вебера появилась идея «выкачивать» тепло из земли, где температура не слишком изменялась в течение года. Он поместил в грунт медные трубы, по которым циркулировал фреон, который «собирал» тепло земли. Газ конденсировался, отдавал свое тепло в доме, и снова проходил через змеевик, чтобы подобрать следующую порцию тепла. Воздух приводился в движение с помощью вентилятора и распространялся по дому.

Принципиальная схема теплового насоса [3] с указанием направления движения холодильного агента для отопления и охлаждения здания приведена на рис.1. Наружный теплообменник расположен у источников тепла, внутренний - в помещении, которое нужно нагревать зимой и охлаждать летом.

Рис. Принципиальная схема работы теплового насоса:

1 - наружный теплообменник; 2 - направление движения хладагента при охлаждении помещения; 3 - направление движения хладагента при отоплении помещения; 4 - четырехходовой кран-переключатель; 5 - внутренний теплообменник; 6 - регулирующий вентиль; 7 - компрессор.

Из нагнетательной линии компрессора горячие пары хладагента поступают в четырехходовой кран, который направляет их в соответствующий теплообменник.

Если холодильная машина работает как тепловой насос для отопления здания, то горячий хладагент поступает во внутренний теплообменник, где конденсируется, отдавая тепло теплоносителю (воздуху или воде). Затем хладагент, пройдя регулирующий вентиль, поступает в наружный теплообменник, где он кипит, забирая тепло для своего кипения от окружающей среды (воздуха, воды). Затем пары

хладагента снова проходят через четырехходовой кран, который их направляет во всасывающую линию компрессора, после чего процесс начинается снова.

В качестве низкопотенциальных (низкотемпературных) источников теплоты могут использоваться:

а) вторичные энергетические ресурсы: теплота вентиляционных выбросов; теплота серых канализационных стоков; сбросная теплота технологических процессов и т.п.

б) нетрадиционные возобновляемые источники энергии: теплота окружающего воздуха; теплота грунтовых и геотермальных вод; теплота водоёмов и природных водных потоков; теплота поверхностных и более глубоких слоев грунта; теплота солнечной энергии и т. п.

Тепловой насос характеризуется следующими параметрами: тепловой мощностью $Q_{\text{кон}}$ (тепловой энергией, выделяющейся при конденсации пара рабочего вещества в конденсаторе в единицу времени); холодильной мощностью $Q_{\text{исп}}$ (тепловой энергией, передаваемой рабочему веществу при его испарении в испарителе в единицу времени); мощностью $P_{\text{ком}}$, затрачиваемой на перекачивание рабочего вещества, и коэффициентом преобразования энергии $\mu_{\text{ТНУ}}$.

Энергетическая эффективность теплонасосной установки (ТНУ) оценивается коэффициентом преобразования, который есть отношение полученной тепловой мощности в конденсаторе в единицу времени и затраченной мощности $P_{\text{ком}}$ на привод компрессора:

$$\mu_{\text{ТНУ}} = \frac{Q_{\text{кон}}}{P_{\text{ком}}}. \quad (1)$$

Коэффициент преобразования больше единицы, и он тем выше, чем меньше величина дополнительной энергии, затраченной в компрессоре. Обычно он равен 2...4, т.е. на 1 кВт · ч затрачиваемой на привод энергии может быть получено 2...4 кВт · ч за счет использования низкопотенциального источника энергии.

Чем выше $\mu_{\text{ТНУ}}$, тем эффективнее тепловой насос. Коэффициент преобразования зависит от:

- разности температур источника низкопотенциальной теплоты (ИНТ) и источника высокопотенциальной теплоты (ИВТ) (чем она выше, тем ниже COP),
- термодинамических свойств хладагента,
- особенностей термодинамического цикла,
- технического совершенства конструкции теплового насоса.

В зависимости от этих факторов значения COP колеблются от 2,5 до 5.

Эффективность тепловых насосов принято характеризовать величиной безразмерного коэффициента трансформации энергии ($K_{\text{тр}}$), определяемого для идеального цикла Карно по следующей формуле:

$$K_{\text{тр}} = \frac{T_{\text{от}}}{T_{\text{от}} - T_{\text{ист}}} = \frac{T_{\text{конд}}}{T_{\text{конд}} - T_{\text{исп}}} \quad (2)$$

где: $T_{\text{от}}$ – температурный потенциал тепла, отводимого в систему отопления или теплоснабжения, К; $T_{\text{ист}}$ – температурный потенциал источника тепла, К; $T_{\text{конд}}$ – температура конденсации рабочего тела; $T_{\text{исп}}$ – температура испарения рабочего тела.

Коэффициент трансформации теплового насоса, или теплонасосной системы теплоснабжения (ТСТ) $K_{\text{тр}}$ представляет собой отношение полезного тепла, отводимого в систему теплоснабжения потребителю, к энергии, затрачиваемой на работу ТСТ, и численно равен количеству полезного тепла, получаемого при температурах $T_{\text{от}}$ и $T_{\text{ист}}$, на единицу энергии, затраченной на привод ТН или ТСТ.

Различают следующие виды тепловых насосов:

Воздушные. Эти тепловые насосы популярны ввиду низкой стоимости, но их КПД зависит от температуры воздуха снаружи здания. Установки типа воздух-воздух используются для отопления помещений, а воздух-вода – для отопления и/или ГВС.

Водяные. Тепловые насосы типа вода-вода или вода-воздух нагревают, соответственно, воду или воздух. Они более эффективны чем воздушные, но для их установки нужен водоем. Стоимость монтажа при этом существенно выше, чем воздушного, но ниже чем геотермального теплового насоса.

Геотермальные (грунтовые). Монтаж таких установок наиболее дорогой из-за необходимости укладки геотермального поля или бурения скважин. Основную их плюс – устанавливать геотермальный насос можно практически в любой местности. Высокий КПД грунтовых тепловых насосов позволяет использовать низкопотенциальное тепло земли для отопления строений любого типа. Но высокая стоимость приводит к тому, что их чаще устанавливают владельцы жилья большой площади, либо промышленных и производственных зданий.

Наиболее эффективными считаются тепловые насосы, извлекающие тепловую энергию из источников со стабильными температурными показателями, т.е. из воды и грунта

Состояние использования. За рубежом теплонасосная техника находит широкое применение для целей теплоснабжения жилых и офисных зданий более 30 лет [4]. В 2009 г. в мире количество тепловых насосов, использующих тепло грунта, превысило 2,8 млн шт., их суммарная установленная тепловая мощность составила 35 ГВт, а ежегодное производство тепловой энергии – 214 тыс. ТДж. Лидерами по установке ТНУ данного типа стали США и Швеция, большое количество их эксплуатируется в Японии, Германии, Швейцарии. В последние годы ТНУ начали активно внедряться в Китае.

В США эксплуатируется около 7 млн тепловых насосов, из которых больше 50% используется для отопления коттеджей. В Германии работает около 300 000 тепловых насосов. В Швеции, где действует более 150 тысяч тепловых насосов, более широко применяются крупные тепловые насосы мощностью 20...90 МВт. Новой областью применения тепловых насосов является создание высокотемпературных теплонасосных установок открытого цикла для получения пара промышленных параметров. Применение тепловых насосов открытого цикла на водяном паре перспективно на маневренных ТЭЦ, в системах пароснабжения от крупных загородных ТЭЦ, на ТЭЦ при выпаривании солевых растворов. Перспективны также тепловые насосы при охлаждении оборотной сетевой воды в системах дальнего транспорта тепла и утилизации теплоты дымовых газов.

Опыт использования тепловых насосов в нашей стране пока невелик однако условия для их внедрения есть. Но, тем не менее, в России уже начался процесс применения тепловых агрегатов. Конечно, общая мощность установленного оборудования в сравнении со странами-лидерами несоизмеримо мала, но многие общественные здания Перми, Калининграда, Туапсе, Самары, Пензы, Московской и Ленинградской областей уже отапливаются по данной энергосберегающей технологии.

В России разработкой и внедрением тепловых насосов занимается СО РАН (институт теплофизики), ОАО «Иркутскэнерго». Изготавливаются тепловые насосы в Новосибирске, Москве, Нижнем Новгороде.

Но, к сожалению, в большинстве регионах страны работа в этом направлении практически не проводится. Так на территории РСО-Алания не действует ни одна тепловая станция. Учитывая важность применения альтернативных видов топлива на примере тепловых насосов сотрудниками и студентами СКГМИ (ГТУ) был разработан проект использования альтернативных видов энергии при помощи теплового насоса типа «грунт-вода» для применения в домах одноэтажной застройки в сельских местностях республики [5].

Проектом был предложен к применению геотермальный тепловой насос, были произведены расчеты параметров первичного контура теплонасосной установки, суммарной длины труб коллектора, общей площади участка под него и расчеты технико-экономических показателей. Результаты расчетов показали, что годовой объем вырабатываемой теплоэнергии в результате внедрения этого мероприятия 669,6 Гкал/год при капитальных вложениях в строительство установки 1792,81 тыс. руб. Предотвращенный эколого-экономический ущерб в этом случае составляет 1171,67 тыс. руб., а прибыль от реализации продукции – 867,27 тыс. руб. В результате срок окупаемости по этим расчетам составляет всего 2,1 года.

Обсуждение (Discussion). Данный проект был предложен многим частным лицам для внедрения, но несмотря на явные экологические и экономические преимущества положительного ответа не было получено.

Закключение (Conclusions). Учитывая темпы малоэтажного строительства в субъектах федерации, прогнозы Минэкономразвития РФ роста тарифов на электроэнергию и газ и прогнозируемый темп инфляции, необходимо более эффективно пропагандировать установку тепловых насосов на цели теплоснабжения жилых зданий.

1. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Утверждено и введено в действие указанием Москомархитектуры от 31.01.2001 г. № 8.
2. Тепловые насосы. <http://wreferat.baza-referat.ru/>
3. Пеклов А.А. Тепловой насос. Принципиальная схема теплового насоса. http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue
4. <http://www.energsovet.ru/stat919.html>. Тепловые насосы: достоинства, недостатки и перспективы применения в России
5. Гутонова З.Х. ст. гр. группы ООС-08 СКГМИ, Цгоев Т.Ф. – руководитель проекта. Дипломный проект: «Разработка проекта получения альтернативных видов энергии на основе тепловых насосов», – Владикавказ: – 99 с.

Шевченко В.А.

Методы декомпозиции сложных динамических систем для организации децентрализованного управления

*Южный федеральный университет
(Россия, Таганрог)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-18

idsp: sciencerrussia-10-12-2018-18

Аннотация

В статье представлен обзор методов и подходов к декомпозиции сложных динамических систем. Рассмотренные методы анализировались с точки зрения применимости и эффективности использования для класса крупных многосвязных технических объектов, представленных сетевой архитектурой, цель функционирования которых описывается транспортной задачей. Рассмотрены традиционные методы декомпозиции сложных динамических систем, основанные на выделении подсистем с различными связями или процессами и их скоростью, а также пространственные методы, топологические и графоаналитические. Сделан вывод о перспективности применения топологических методов декомпозиции для эффективного управления сложными динамическими системами с сетевой архитектурой.

Ключевые слова: декомпозиция, сложная динамическая система, сетевая архитектура, диакоптика, транспортная задача.

Системы управления сложными динамическими системами (ДС), строятся на принципах централизованного или децентрализованного управления. Полностью централизованное управление сложными ДС можно считать идеальным случаем, позволяющим получить наибольший эффект. Применение в сложных многосвязных системах единого регулятора, способного вырабатывать всю совокупность управляющих воздействий, теоретически может дать более высокий эффект, чем группа локальных регуляторов [0]. Однако, анализ и синтез централизованного управления в сложных распределенных системах является труднореализуемой задачей, сопряженной с большими вычислительными затратами и необходимостью введения дополнительных упрощений. Таким образом, управление сложными ДС рассматривается как задача децентрализованного управления её элементами [2-12].

Концепция децентрализованного управления подразумевает наличие подсистем в структуре единой ДС, которые управляются локальными регуляторами. Традиционно, разделение сложных ДС происходит поэлементно. Рассматривая ДС, представленную

на рисунке Рисунок 1, и предполагая, что динамика элементов системы нелинейная, уравнения внутреннего состояния можно представить в виде:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Af_{ij}(x_i(t), x_j(t)) + G(x(t))u(t) \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) \end{cases}$$

где $x(t)$ – вектор переменных состояния, $G(x(t)) \neq 0$ – функциональная матрица, $u(t)$ – вектор управляющих воздействий, $A = [a_{ij}]$ – матрица связности элементов, $f_{ij}(x_i(t), x_j(t))$ – функция, отражающая влияние j -го элемента системы на i -ый, i, j – номера элементов, $i = 1, \dots, n$.

Тогда разбить систему на элементы возможно следующим образом:

$$\dot{x}_i(t) = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} f_{ij}(x_i(t), x_j(t)) + \begin{bmatrix} g_1(x(t)) \\ \dots \\ g_n(x(t)) \end{bmatrix} u_i(t)$$

Рисунок 1 – Графовое представление динамической системы

В случае, когда задача функционирования сложной ДС выражается как транспортная, влияние смежных узлов на элементы учитывается в уравнениях по выходу $y(t)$. Так, что декомпозиция по элементам для анализа внутреннего состояния в этом случае является наиболее целесообразной. Далее возникает задача декомпозиции сложной ДС по выходу $y(t)$ на подсистемы агрегированных элементов для поиска таких целевых внутренних состояний $x(t)$, чтобы обеспечить общую задачу функционирования системы.

Традиционно, методы декомпозиции строятся на выделении подсистем с различными связями [0-19]. Если недиагональные элементы матрицы связи $a_{ij, i \neq j}$ представить как εa_{ij} , где $0 \leq \varepsilon \leq 1$, то при обращении ε в 0, возникают изменения структуры ДС, т.к. нарушаются связи внутри ДС. Такое преобразование называют структурным возмущением. В случае, если ε очень мало или стремится к нулю, так что $a_{ii} \square a_{ij, i \neq j}$, считается что связи между элементами в системе слабые и можно

анализировать систему, полагая $\sum_{j=1}^n a_{ij} f_{ij}(x_i(t), x_j(t)) = 0$. В случае, когда εa_{ij} и a_{ii}

соизмеримы, связи считаются сильными. Провести декомпозицию ДС по выходу $y(t)$ данным методом с сильными связями формально возможно, но это приведёт к нарушению связей и переходу к рассмотрению отдельных элементов как по внутреннему состоянию, так и по выходу. В случае сильных связей необходимо искать иные способы декомпозиции. Случай, когда возникают сингулярные возмущения [14], т.е. структурные возмущения, приводящие к изменению порядка системы, не

рассматриваются в контексте транспортной задачи анализа сложной ДС по выходу, т.к. случай когда $a_{ij, i \neq j} \square a_{ii}$, означает, что элемент i является транспортным узлом, не трансформируя и не влияя на поток продукции. В [16] предложен метод частотной декомпозиции, основанный на выделении слабосвязных парциальных подсистем. В выделенных подсистемах разделяют низкочастотные и высокочастотные колебания, далее формируют систему как низкочастотное объединение подсистем, путем перестановки строк и столбцов в исходной матрице связей. В [17] предложено разделять систему на подсистемы, соответствующие различным направлениям движения (различным целям и режимам функционирования). Для уравнений типа: $S(t) = F[S(t-1), S(t-2), \dots; U(t); P | G(t)]$ вводятся критериальные векторы состояний $S_m^T = (S_1^m, S_2^m, \dots, S_N^m)$, где $m=1, \dots, M$, а M – число направлений движений, таким образом, что систему разбивают на m связанных подсистем: $S(t) = S_m(t) + H(t)$, где $G(t)$ и $H(t)$ – вектора нормальных помех. Идея такой декомпозиции применена в [18] для разделения многокомпонентной робототехнической системы, где в качестве направления движения предлагается рассматривать цели управления, разделяемые на локальные, свойственные отдельным подсистемам, и глобальные, относящиеся ко всей системе в целом. Похожий подход использован в [19], с той разницей, что предполагается смена направления движения в рамках ДС, по аналогии с жизненным циклом. Т.е. декомпозированная система S имеет математическое описание в линейном представлении следующего вида: $\dot{x}_{S_k} = a_{S_k, S_k} x_{S_k} + \dots + a_{S_k, S_m} x_{S_m}$, где подсистема S_i описывается одним из слагаемых. Подсистемы разбиваются на два типа: активные и пассивные. Активные подсистемы S_k , где $k=1, \dots, m$ – количество активных подсистем, влияют на динамику S в некоторый момент времени. Пассивные подсистемы S_j , где $j=1, \dots, n$ – количество пассивных подсистем, либо не влияют на общую динамику S , либо их влиянием в некоторый момент времени можно пренебречь.

Широко рассматриваются методы декомпозиции, позволяющие выделить быстрые и медленные процессы в разнотемповых ДС [20-24]. Наиболее применимы методы декомпозиции, основанные на выделении «сильных» (медленных) и отбрасывании «слабых» (быстрых) факторов, определяющих динамику системы [Ошибка! Источник ссылки не найден. - Ошибка! Источник ссылки не найден.]. рошенная модель, получаемая при отбрасывании быстрых составляющих, описывает медленные процессы, называемые движением, в системе [22]. Возможность применения данного подхода к декомпозиции обусловлен возможностью выделить движения в системе разного темпа протекания. Разнотемповость может порождаться внутренними особенностями системы или вводится искусственно, путем включения в систему звеньев с большими коэффициентами усиления, разрывными характеристиками и т.д. [22]. В обоих случаях можно трактовать декомпозицию как выделение в фазовом пространстве системы некоторых множеств, попадание траекторий в которые соответствует желаемым свойствам или требуемому упрощению системы. Траектории системы быстро приближаются к выделенным множествам, а последующее медленное движение обеспечивает приемлемые свойства системы в целом. В [23] предложен метод выделения вынужденных периодических движений как развитие подходов к преобразованию моделей в работах [25, 26], позволяющий не налагать дополнительные ограничения на эти преобразования по полной управляемости системы по выходу и нулевым начальным значениям переменных состояний модели. Вынужденные периодические движения в пространстве состояний исходной системы могут быть получены по движениям в пространстве состояний преобразованной системы в соответствии с применяемым преобразованием. Рассматривается модель ДС с нелинейными зависимостями: $\dot{\bar{x}} = A\bar{x} + B[v + \psi(t)]$,

$v = N(y)$, $y = C\bar{x}$, где $\bar{x}(t)$ – вектор переменных состояния, $v(t)$ – вектор управления, $N(y)$ – вектор столбец нелинейных функций. Применяемое преобразование заключается в построении неособого канонического преобразования $\bar{x}(t) = Mx(t)$, $x(t) = M^{-1}\bar{x}(t)$, приводящего матрицу A к Жордановой форме $J = M^{-1}AM$, а матрицы B , C – к определенному виду $B_m = M^{-1}B$, $C_m = CM$, которое в результате декомпозиции приводятся к блочной форме. В [24] предложен метод асимптотического расщепления уравнений, позволяющий упростить задачу по исследованию линейных систем автоматического управления путем преобразования исходной системы дифференциальных уравнений к независимым подсистемам меньшего порядка. В работе рассматривается модель вида: $A(t)\dot{x}(t) = B(t)x(t) + f(t)$, которая преобразуется к виду $A(\tau, \varepsilon)\dot{x}(t) = B(\tau, \varepsilon)x(t) + f(t, \tau, \varepsilon)$, где $\tau = \varepsilon t$, а $A(\tau, \varepsilon), B(\tau, \varepsilon)$ – квадратные матрицы, допускающие разложение по степеням ε :

$$A(\tau, \varepsilon) = \sum_{k=0}^{\infty} \varepsilon^k A_k(\tau), \quad B(\tau, \varepsilon) = \sum_{k=0}^{\infty} \varepsilon^k B_k(\tau). \text{ Если } A_k(\tau) = B_k(\tau) = 0, \text{ а } \varepsilon = 1, \text{ то}$$

преобразованная модель вернется к исходному виду.

В работе [27] предложен метод декомпозиции, основанный на выделении элементов системы, обеспечивающих минимальную вероятность заставить систему в неработоспособном состоянии. Для этого определяется функция интегральной эффективности на некотором временном интервале:

$$E(0, t) = \sum_i \int_0^t \text{Pr}_i(\tau) h_i d\tau + \sum_{i,j} \int_0^t \omega_{i,j}(\tau) h_{i,j} d\tau, \text{ где } \text{Pr}_i(t) - \text{вероятность заставить систему в}$$

некоторый момент времени в i -м состоянии, $\omega_{i,j}(t)$ – параметр потока переходов в некоторый момент времени из i -го состояния в j -е. Таким образом, определяется состояние общей системы в различных вариациях её структурных и параметрических состояний. Далее определяется функция вероятности отказа системы в некоторый момент времени в зависимости от её состояния, что позволяет разбивать исходную систему на части.

Для декомпозиции распределенных систем часто используют топологические методы разделения ДС [28-38]. Основоположителем топологических методов декомпозиции является Г. Крон, представивший ряд методов изучения сложных систем по частям, под общим названием диакоптика [28]. Диакоптика определяет алгоритмы нахождения областей взаимосвязанных элементов, разрывая связи между образованными сегментами [29]. Далее возможно анализировать два новых образования – полученные и несвязанные сегменты и межсегментарные связи, где сегменты являются элементами. В [30-32] рассматривается топологический метод декомпозиции для определенным образом соединенных систем: последовательных, циклических и радиальных. Предложен вариант попарного разделения на основе матрицы связей, где каждый предыдущий элемент, связан с последующим, образуя круговые структуры. В [33-35] представлен расширенный вариант данного метода, когда в один сегмент включаются более двух элементов, но не более некоторого порогового значения, заданного в начале процесса декомпозиции. Метод представляет собой рекурсивный алгоритм перестановки разряженных матриц в блочно-диагональную форму для формирования граничных блоков. В [36] данный подход использован для нахождения решения системы многосвязных линейных уравнений. В [37,38] представлен диакоптический подход к организации последовательных и параллельных вычислительных процессов при моделировании больших систем на базе математического описания моделируемой системы в виде блочно-диагональной окаймленной структуры.

Анализ рассмотренных методов декомпозиции с точки зрения разделения сложной ДС, представленной сетью связанных элементов, общая цель которой может быть описана транспортной задачей, показал, что наиболее подходящим классом методов являются топологические методы на базе диакоптики Крона. Методы выделения сильных и слабых связей требуют формализации математической модели таким образом, чтобы матрица связей содержала не только информацию о взаимосвязи элементов, но и их качественных или количественных характеристиках. Однако, даже такая формализация может не привести к желаемому результату, т.к. разрыв слабой связи может способствовать образованию дисбаланса потока продукции. В ином случае, все связи являются сопоставимыми по их «силе», что не приведет к разделению или приведет к разбиению системы на базовые элементы. Методы на основе выделения разнотемповых или разнородных процессов не могут быть применены в контексте транспортной задачи, т.к. рассматривается линейная задача распространения потока продукции без дополнительных процессов. Данные методы могут быть применены для разделения моделей элементов ДС, т.к. элементы зачастую описываются сложными нелинейными системами дифференциальных уравнений с более чем одним управляющим воздействием. Однако, для большинства элементов, которые составляют сложные ДС (генераторы, двигатели, насосные станции и т.д.) могут быть успешно применены адаптивные методы управления без разделения моделей на части.

Работа поддержана грантом Южного федерального университета №ВнГр-07/2017-15 «Разработка теоретических основ и методов построения интеллектуальных многосвязных систем управления процессами производства, транспортировки, распределения и потребления энергии», грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 16-08-00013.

1. Воронов А.А. Введение в динамику сложных управляемых систем. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 352 с.
2. R. Ghadami and B. Shafai, "Decomposition-Based Distributed Control for Continuous-Time Multi-Agent Systems" // IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 58, no. 1, pp. 258-264.
3. Massioni and M. Verhaegen, "Distributed Control for Identical Dynamically Coupled Systems: A Decomposition Approach," in IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 54, no. 1, pp. 124-135.
4. F. Borrelli ; T. Keviczky Distributed LQR Design for Identical Dynamically Decoupled Systems // IEEE Transactions on Automatic Control, Volume 53, Issue 8 , Sept. 2008, pp. 1901 – 1912.
5. B. Bamieh ; F. Paganini ; M.A. Dahleh Distributed control of spatially invariant systems // IEEE Transactions on Automatic Control, Volume 47, Issue 7, Jul 2002, pp. 1091 – 1107.
6. R. D'Andrea and G. E. Dullerud, "Distributed control design for spatially interconnected systems," in IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 48, no. 9, pp. 1478-1495, Sept. 2003
7. E. Camponogara, D. Jia, B. H. Krogh and S. Talukdar, "Distributed model predictive control," in IEEE Control Systems Magazine, vol. 22, no. 1, pp. 44-52.
8. Jing, Yuanwei, et al. "Decentralized Control of Complex Dynamic Systems Employing Function Emulation by Neural Networks." Complex Systems. Springer, Cham, 2016, pp. 249-266.
9. Фрадков А.Л., Григорьев Г.К. Децентрализованное адаптивное управление синхронизацией сетей динамических систем при ограниченных возмущениях // Автоматика и телемеханика. 2013. № 5. сс. 137-155.
10. Фридман О.В., Фридман А.Я. Градиентный метод координации управлений иерархическими и сетевыми структурами // Информационно-управляющие системы. 2010. № 6 (49). сс. 13-20.
11. Шеленок Е.А. Децентрализованное робастное управление одним классом многосвязных неаффинных объектов с запаздыванием по состоянию // Информатика и системы управления, № 2(52), 2017 г., сс. 119-130.
12. Паршева Е.А. Применение адаптивного динамического регулятора для децентрализованного управления по выходу многосвязным объектом с запаздыванием // Вестник астраханского государственного технического университета, № 1(36), 2007 г., сс. 31-39.
13. Воропаев Н.В., Соболев В.А. Геометрическая декомпозиция сингулярно возмущенных систем. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 256 с.
14. Дмитриев М.Г., Курина Г.А. Сингулярные возмущения в задачах управления // Автоматика и телемеханика, №1, 2006 г., с. 3-51.
15. Шаршеналиев Ж., Бакасова А.Б. О некоторых методах декомпозиции сложных динамических систем управления // Проблемы автоматизации и управления, №1(22), 2012 г., с. 5-15.
16. Банах Л.Я. Методы декомпозиции и редукции динамических моделей механических систем // Нелинейная динамика машин - SCHOOL-NDM 2017, 2017 г., с. 41-55.

17. Краснов А.Е., Сагинов Ю.Л., Феоктистова Н.А. Алгебраические основы нейросетевой декомпозиции и агрегирования динамических систем // Сборник трудов V Международной конференции: III международный конкурс научных и научно-методических работ. Международная академия информатизации, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского, 2015 г., с. 23-27.
18. Веселов Г.Е. Проблема синтеза иерархических стратегий группового управления робототехническими системами // Известия ЮФУ. Технические науки, 2011 г., с. 41-49.
19. Кириллов А. Н. Метод динамической декомпозиции в моделировании систем управления со структурными изменениями // Информационно-управляющие системы, 2009 г., с. 20-24.
20. Первозванский А.А., Гайцгори В.Г. Декомпозиция, агрегирование и приближенная оптимизация. – М.: Наука, 1979. – 344 с.
21. Абгарян К.А. Расщепление сингулярно возмущенной многотемповой системы // Известия академии наук Армянской ССР, Математика, №5, 1979 г., с. 327-337.
22. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах: беспонсковые методы. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 296 с.
23. Камачкин А.М., Шамберов В.Н. Метод декомпозиции в многомерных нелинейных динамических системах // Вестник воронежского государственного университета. Серия: системный анализ и информационные технологии, №1, 2012 г., с. 47-55.
24. Абгарян К.А. Асимптотическое расщепление уравнений линейной системы автоматического управления // ДАН СССР. 1966. Т. 166. № 2, с. 301-304.
25. Петров В. В. Нелинейные сервомеханизмы: монография / В. В. Петров, А. А. Гордеев. – М.: Машиностроение, 1979. – 471 с.
26. Дерусо П. Пространство состояний в теории управления (для инженеров): монография / П. Дерусо, Р. Рой, Ч. Клоуз; пер. с англ. Р. Т. Янушевского; под ред. М. В. Меерова, – М.: Наука, 1970. – 620 с.
27. Викторова В.С., Свердлов Ю.М., Степанянц А.С. Анализ надежности систем сложной структуры на многоуровневых моделях // Автоматика и телемеханика, 2010 г., с. 143-148.
28. Крон Г. Исследование систем по частям: диаоптика М.: Наука. 1972. 544с.
29. Петров А.Е. Обобщенная диаоптика для управления в системах с переменной структурой // Десятая всероссийская мультikonференция по проблемам управления МКПУ-2017, 2017, с. 207-209.
30. A. Iftar Decentralized estimation and control with overlapping input, state and output decomposition// Automatica, №29 (1993), pp. 511-516.
31. Xin-Yu OUYANG, Xue-Bo CHEN, Wei WANG Modeling and decomposition of complex dynamic interconnected systems, IFAC Proceedings Volumes, Volume 42, Issue 4, 2009, pp. 1002-1007.
32. Xue-Bo Chen, Srdjan S. Stanković Decomposition and decentralized control of systems with multi-overlapping structure, Automatica, Volume 41, Issue 10, 2005, pp. 1765-1772.
33. A.I. Zečević, D.D. Šiljak Balanced decompositions of sparse systems for multilevel parallel processing, IEEE Transactions CAS, 41 (1994), pp. 220-233.
34. Alvarado, F.L., Reitan, D.K., Bahari-Kashani, M. Sparsity in diakoptic algorithms, (1977) IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 96 (5), pp. 1450-1459.
35. Felix F. WU. Solution of Large-Scale Networks by Tearing // IEEE transactions on circuits and systems, Vol. CAS-23, № 12, December 1976, pp. 706-713.
36. P. W. Aitchison Diakoptics as a general approach in engineering// Journal of Engineering Mathematics, Volume 21, 1987, issue 1, pp. 47-58.
37. Грудинин В.Н., Анисимов В.И., Алмаасали С.А. Повышение эффективности процессов моделирования нелинейных систем // Информационные технологии в проектировании и производстве, №4(152), 2013 г., с. 10-13.
38. Анисимов В.И., Тарасова О.Б., Алмаасали С.А. Организация вычислительных процессов при моделировании систем на основе методов диаоптики // Информационные технологии в проектировании и производстве, №4(152), 2013 г., с. 14-17.

Morozova O.O.

The mathematical models in the process of organization of the services of search and rescue ensuring flights

Autonomous noncommercial organization of additional education" Agency of Technological development Ulyanovsk region", leading specialist in science (Russia, Ulyanovsk)

doi: 10.18411/sr-10-12-2018-19

idsp: sciencerrussia-10-12-2018-19

Abstract

This article discusses the approach to the planning of the service of search and rescue support of flights on the basis of the application of a mathematical model.

Keywords: mathematical model, list of measures, emergency situation.

This article proposes the using of mathematical models in the organization of the service of search and rescue support of flights (hereinafter – PASOP), which is based on the task of effective distribution of available forces and means in case of emergency situations.

If to accept for S_i - the list of forces and means used by service PASOP (where $i = \overline{1, I}$); N_m – the event or the emergency situation which arose in a zone of responsibility of service PASOP (where $m = \overline{1, M}$). The corresponding list of actions G_{mi} ($m = \overline{1, M}$) on elimination of the arisen emergency situation N_m (technological, technical processes) can be represented in the form of a matrix:

Matrix of activities-rescue, search operations

Emergency situation	The forces and means of service PASOP					
	S_1	S_2	...	S_i	...	S_I
N_1	G_{11}	G_{12}	...	G_{1i}	...	G_{1I}
N_2	G_{21}	G_{22}	...	G_{2i}	...	G_{2I}
N_3	G_{31}	G_{32}	...	G_{3i}	...	G_{3I}
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
N_m	G_{m1}	G_{m2}	...	G_{mi}	...	G_{mI}
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
N_M	G_{M1}	G_{M2}	...	G_{Mi}	...	G_{MI}

The task is to determine the list of G_{mi} activities that include S_i forces and means, when the N_m event occurs, which will be most effective with minimal execution time:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I T_{mi} \cdot G_{mi} \rightarrow \min$$

All processes will be considered only those that will fit the following condition:

$$\begin{cases} P(T_{mi} > t_{mi}) \rightarrow \max \\ T_{mi} \leq t_{mi} \\ t_{mi} \geq 0 \\ T_{mi} \geq 0 \end{cases}$$

where t_{mi} – the specified (standard set) time of execution of technological operations, works of PASOP services;

T_{mi} – the time required to perform Z_{mi} operations to prevent or mitigate the aftermath of the N_m event;

$P(T_{mi} > t_{mi})$ – the probability that the time of the operation will not exceed the standard set time.

In this case, it is assumed that the implementation of rescue, search operation includes all stages of work using all necessary forces and means.

When using such mathematical models, it is advisable to develop an assessment of the quality of rescue and search operations, the adequacy of using of forces and means at a set time. This will allow to form an effective list of activities with a description of the necessary

forces and means of PASOP services, to determine their sequence in the event of various emergency situations.

1. Morozova, O. O. Effective planning of work of services of search and rescue ensuring flights // Modernization of economic systems: a look into the future (MESLF): collection of scientific works / under the editorship of P. A. Neverov, A. B. Amanzholova - Prague : Vedecko vydavatelske centrum "Sociosfera-CZ", 2016. P. 243-245.
2. Morozova, O. O. Optimization of management decisions in the safety management system of airlines on the basis of the mathematical model of total costs // scientific Bulletin of MSTU GA. 2013. № 197 (11). - P.145-147.

Научное издание

Наука России: Цели и задачи

Сборник научных трудов, по материалам
XII международной научно-практической конференции
10 декабря 2018 г.

Часть 1

SPLN 001-000001-0373-SR

Подписано в печать 10.01.2018. Тираж 400 экз.
Формат.60х84 1/16. Объем уч.-изд. л.4.6
Бумага офсетная. Печать оперативная.
Отпечатано в типографии НИЦ «Л-Журнал»
Главный редактор: Иванов Владислав Вячеславович