Международная Объединенная Академия Наук

Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук

Сборник научных трудов

**по материалам
XV международной научной конференции**

12 марта 2018 г.

LJOURNAL.RU

Санкт-Петербург 2018

УДК 501
ББК 30

Н34

Научный тенденции: Вопросы точных и технических наук.
Сборник научных трудов, по материалам XV международной научно-практической конференции 12 марта 2018 г. Изд. ЦНК МОАН, 2018. – 40с.

SPLN 001-000001-0262-TT
DOI 10.18411/spc-12-03-2018
IDSP 000001: spc-12-03-2018

В сборнике научных трудов собраны материалы из различных областей научных знаний. В данном издании приведены все материалы, которые были присланы на XV международную научно-практическую конференцию
Научный диалог: Вопросы точных и технических наук

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) и наукометрическую базу SPINDEX

Электронная версия сборника доступна на сайте ЦНК МНИФ «Общественная наука». Сайт центра: conf.sciencepublic.ru

УДК 501
ББК 30

SPLN 001-000001-0262-TT

<http://conf.sciencepublic.ru>

Содержание

РАЗДЕЛ I. МАТЕМАТИКА	4
Морозова Л.Е. Рассеяние в случае разностного оператора Шрёдингера для квантовой проволоки	4
РАЗДЕЛ II. ФИЗИКА	6
Смагулов Ж.К., Мырзахметова А.Ж. Использование беспроводной связи для автоматизаций отопления жилого дома.....	6
РАЗДЕЛ III. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	10
Амбалова З.А., Гахова Н.Н. Имитационное моделирование задачи распределении обязанностей участников комплексных проектов	10
Преображенская Т.В. Минимизация точек ввода данных в информационных системах	11
РАЗДЕЛ IV. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ.....	15
Михеевская М.А., Михеевский Е.В. Алмазная обработка как способ увеличения износостойкости бурового инструмента для добычи высоковязкой нефти шахтным способом	15
Савкин А.А., Мусаев А.А. Мультирегрессионный контроль мониторинга технологического процесса	16
Старков И.О., Дмитриева М.Л. Формы внедрения автоматизированных систем в наукоёмкое производство	22
Филина О.А., Галиуллин Д.Р., Ахмадеев Р.И. Модель технической диагностики ГЭТ и ГТД	23
Чжан Р.В. Опыт строительства гидротехнических сооружений в Якутии и изменение инженерно-геологических условий территории под влиянием гидроузлов и меняющегося климата	25

РАЗДЕЛ I. МАТЕМАТИКА

Морозова Л.Е.

Рассеяние в случае разностного оператора Шрёдингера для квантовой проволоки*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
(Россия, Ижевск)*

doi:10.18411/spc-12-03-2018-01

idsp: 000001:spc-12-03-2018-01

При описании транспорта электронов через наноразмерные электронные устройства, такие как квантовые контакты, квантовые точки, квантовые проволоки (см. [1-4]), часто используется разностной оператор Шрёдингера (то есть гамильтониан электрона, находящегося в данной структуре), область определений которого состоит из функций, заданных на вершинах графа. При этом различные участки графа задают, например, квантовую точку или проволоку. Несмотря на физическую актуальность, математически эти модели исследованы очень мало, имеющиеся работы относятся к решеткам $\mathbb{Z}^v$ (см. например [5]).

Рассмотрим оператор $H_V = H + V$ в пространстве $l^2(\Gamma)$, где $\Gamma = \{(n, 0) : n \in \mathbb{Z}\} \cup \{(0, 1)\}$ - множество вершин графа. Здесь H действует по формуле

$$(H\psi)(n, 0) = \psi(n+1, 0) + \psi(n-1, 0), \quad n \leq -1, \quad n \geq 2,$$

$$(H\psi)(0, 0) = \psi(-1, 0) + \omega\psi(0, 1),$$

$$(H\psi)(0, 1) = \omega[\psi(0, 0) + \psi(1, 0)],$$

$$(H\psi)(1, 0) = \omega\psi(0, 1) + \psi(2, 0),$$

здесь $\omega \neq 0$ - вещественное число, V - оператор (потенциал) умножения на вещественную функцию $V(n) = V_0 \delta_{n_0}$, δ_{n_0} - символ Кронекера, $n, n_0 \in \mathbb{Z}$. Оператор H_V является гамильтонианом квантовой частицы (электрона), находящегося в системе, состоящей из квантовой проволоки и двух квантовых точек, при этом потенциал V описывает влияние примесей.

В работе изучается задача рассеяния в стационарной постановке для двух возможных направлений распространения частицы. Найдены условия полного отражения и полного прохождения.

Для описание картины рассеяния рассматривается уравнение Липпмана-Швингера для оператора H_V с налетающей волной, распространяющейся вдоль $\mathbb{Z}$

$$\begin{cases} \psi_1(n) = e^{\pm i\theta n} - [\omega\psi_2(1) - \psi_1(1)](R_0(\theta)\delta_{n_0})(n) - [\omega\psi_2(1) - \psi_1(1)](R_0(\theta)\delta_{n_1})(n) - \\ \quad - V_0\psi_1(n_0)(R_0(\theta)\delta_{n_0 n})(n), \quad n \in \mathbb{Z}, \\ \psi_2(n) = \frac{1}{2\cos\theta}(\omega[\psi_1(0) + \psi_1(1)]), \quad n \in \mathbb{Z}. \end{cases}$$

где $\theta \in (-\pi, \pi)$, $\theta \neq 0$. Знак «+» в показателе экспоненты первого уравнения системы данной системы соответствует волне, налетающей слева, а знак «-» волне, налетающей справа. Обозначим $A_-(\theta, \omega)$, $A_+(\theta, \omega)$ - коэффициенты отражения и прохождения, соответственно. Тогда $P_{\pm}(\theta, \omega) = |A_{\pm}(\theta, \omega)|^2$ является, соответственно, вероятностью прохождения и отражения в точке $\theta \in (-\pi, \pi)$, $\theta \neq 0$. Для волны, налетающей слева, доказано следующее утверждение.

Лемма 1. Имеют место формулы:

$$A_-(\theta, \omega) = \frac{V_0 e^{2i\theta n_0} (\omega^2 - \cos \theta e^{i\theta}) + (2i \sin \theta + V_0) \cos \theta e^{i\theta} (1 - \omega^2)}{V_0 e^{2i\theta n_0} e^{-i\theta} \cos \theta (1 - \omega^2) + (2i \sin \theta + V_0) (\omega^2 - \cos \theta e^{-i\theta})},$$

$$A_+(\theta, \omega) = - \frac{2\omega^2 \sin^2 \theta e^{2i\theta n_0}}{V_0 e^{2i\theta n_0} e^{-i\theta} \cos \theta (1 - \omega^2) + (2i \sin \theta + V_0) (\omega^2 - \cos \theta e^{-i\theta})}.$$

В следующей теореме для волны, налетающей слева, найдено условие полного прохождения частицы.

Теорема 1. Пусть $V = \frac{1-\omega^2}{\omega^2} 2 \cos \frac{\pi \nu}{n_0}$, $\nu \in \mathbb{Z}$. Тогда справедливо равенство $P_+(\theta, \omega) = 1$.

Для волны, налетающей справа, доказано следующее утверждение.

Лемма 2. Имеют место формулы:

$$A_-(\theta, \omega) = \frac{(\cos \theta e^{-i\theta} - \omega^2)(2i \sin \theta + V_0 e^{-2i\theta n_0}) - V_0 e^{-i\theta} \cos \theta (1 - \omega^2)}{V_0 e^{2i\theta n_0} e^{-i\theta} \cos \theta (1 - \omega^2) + (2i \sin \theta + V_0) (\omega^2 - \cos \theta e^{-i\theta})},$$

$$A_+(\theta, \omega) = - \frac{2\omega^2 \sin^2 \theta}{V_0 e^{2i\theta n_0} e^{-i\theta} \cos \theta (1 - \omega^2) + (2i \sin \theta + V_0) (\omega^2 - \cos \theta e^{-i\theta})}.$$

Замечание 1. Имеют место соотношения

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} P_+(\theta, \omega) = 0, \quad \lim_{\omega \rightarrow \infty} P_+(\theta, \omega) = 0, \quad \lim_{V_0 \rightarrow \infty} P_+(\theta, \omega) = 0, \quad \lim_{\omega \rightarrow \infty, V_0 \rightarrow \infty} P_+(\theta, \omega) = 0.$$

В следующей теореме для волны, налетающей справа, найдены условия почти полного отражения частицы.

Теорема 2. Пусть $\theta = \frac{\pi \nu}{n_0}$, $\nu \in \mathbb{Z}$. Тогда справедливо равенство $\lim_{\omega \rightarrow \infty} P_+(\theta, \omega) = 1$.

Следует заметить, что в отличие от разностного оператора Шредингера с «локальным» потенциалом (оператором умножения на функцию), вероятности прохождения и отражения различны при изменении направления движения налетающей частицы.

1. Shangguan W. Z., Au Yeung T. C., Yu Y. B., Kam C. H. Quantum transport in one-dimensional quantum dot array // Phys. Rev. B. — 2001. — Vol. 63, 235323 (9p).
2. Orellana P.A., Domingulz-Adame F., Gomes I., Ladron de Guevara M.L. Transport through a quantum wire a side quantum-dot array. Phys. Rev. B., 2004, vol. 67, 085321 (5p).
3. Gores J., Goldhaber-Gordon D., Heemeyer S., Kastner M.A. Fano resonances in electronic transport through a single-electron transistor. Phys. Rev. B., 2000, vol. 62, no. 3, pp. 2188--2195.
4. Chakrabarti A. Fano resonance in discrete lattice models: Controlling lineshapes with impurities // Phys. Letters A. — 2007. — Vol. 336, Issues 4–5. — P. 507–512.
5. Абдуллаев Ж. И., Лакаев С. Н. Асимптотика дискретного спектра разностного трехчастичного оператора Шредингера на решетке // Теор. матем. физика. — 2003. — Т. 136, № 2. — С. 321–245.

РАЗДЕЛ II. ФИЗИКА

Смагулов Ж.К., Мырзахметова А.Ж.

Использование беспроводной связи для автоматизаций отопления жилого дома

Карагандинский Государственный Университет им Е.А.Букетова
(Казахстан, Караганда)

doi:10.18411/spc-12-03-2018-02

idsp: 000001:spc-12-03-2018-02

Аннотация

В настоящее время в связи с удорожанием и ограничением запасов ископаемого топлива, все чаще используют комбинированные системы для обогрева жилых и производственных зданий с использованием возобновляемых и не возобновляемых источников тепла. В данной работе представлен анализ и выбор беспроводной технологии для автоматической системы управления обогревом жилого дома от трех источников тепла: газового котла, солнечного теплообменника и ветрогенератора.

Ключевые слова: модуль, фрейм, приложение, сеть, топология

При проектировании системы беспроводной системы автоматического управления было использовано следующее оборудование: 2 беспроводных модуля XBee Pro S2B компании Digi; контроллер Arduino MEGA 2560 с микроконтроллером ATMEGA2560; аналоговый датчик температуры LM335.

Модули XBee-Pro – это новые повышенной мощности беспроводные модули, которые доступны в двух вариантах – простом и программируемом. Новые модули (платформа S2B) имеют улучшенные технические характеристики – дальность связи на открытой местности достигает 3200 метров. Модули при их нагрузке на всю мощность употребляют меньше энергии (205 мА против 295 мА), так же имеют встроенный температурный датчик и защиту от перегрева и повышенного напряжения питания. Настройка ZigBee-части модуля выполняется через внутренний UART-интерфейс, что обеспечивает целостность ZigBee-стека и увеличивает общую стабильность работы устройства. Контроллер Arduino Mega собран на микроконтроллере ATmega2560. В микросхему входят 54 цифровых входов/выходов, 14 из которых могут быть применены в качестве выходов ШИМ. Контроллер Mega 2560 совместим со многими платами расширения, разработанными для контроллеров Uno или Duemilanove. В таблице 1 приведены краткие характеристики микроконтроллера ATmega2560.

Таблица 1

Краткие характеристики ATmega2560

Микроконтроллер	ATmega2580
Рабочее напряжение	5В
Входное напряжение(рекомендуемое)	7-12В
Входное напряжение(предельное)	6-20В
Цифровые Входы/Выходы	54(14 из которых могут работать как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	16
Постоянный ток через вход/выход	40mA
Постоянный ток для выхода 3.3В	50mA
Флеш-память	256 КБ (из которых 8 КБ используется для разгрузчика)
ОЗУ	8 КБ
Энергонезависимая память	4КБ
Тактовая частота	16 MHz

Аналоговый датчик температуры - LM335 с диапазоном измерений от -40°C до $+100^{\circ}\text{C}$ и погрешностью в 1°C . LM335 - это стабилитрон с приведенным температурным коэффициентом напряжения ($\text{TKH} = 10 \text{ мВ/К}$)[1]. Задавая значение тока резистором через датчик в интервале от 0.45 мА до 5 мА , принимаем напряжение на устройстве, которое в десятках мВ представляет абсолютную температуру в градусах Кельвина.

Для разработки беспроводного канала в диапазоне $2,4 \text{ ГГц}$ были использованы радиомодули XBee фирмы Digi. Радиомодули XBee зарекомендовали себя как надежные, недорогие и очень простые в освоении устройства. Встроенное программное обеспечение (802.15.4 / DigiMesh / ZigBee / SmartEnergy) позволяет построить как простейший радиосвязь между двумя точками (до 3.2 км), так и полноценную Mesh-сеть, состоящую из сотен узлов. Уникальный протокол DigiMesh с поддержкой спящих маршрутизаторов может оказаться крайне полезным при создании протяженных сетей с питанием от батарей. Радиомодули XBee не требуют для своей работы никаких внешних компонентов. Управление осуществляется с помощью AT-команд или API-фреймов, отсылаемых по UART, SP или USB-интерфейсу. Были изучены и сравнены оба режима передачи информации: AT-режим (прозрачный режим) или с помощью структурированных пакетов (API-режим). Режим AT-команд очень прост для понимания и оптимален при передаче непрерывных потоков данных в сетях с не сложной топологией. В AT-режиме радиомодуль XBee просто ретранслирует последовательные данные на другой приемный модуль XBee, согласно заданному в памяти адресу. Этот режим удобен в тех случаях, когда не нужно часто менять адреса назначения удаленного модуля, или в случае использования простой топологии сети такой, как «точка-точка». Режим API (Application Programming Interface) гораздо более гибок, особенно при управлении посредством внешнего контроллера, что позволяет отправлять и данные, и команды управления в общем потоке. Помимо этого, некоторые возможности в режиме AT-команд являются недоступными. Например, настроить или изменить параметры удаленного модуля есть возможность только в API-режиме. Также режим API предполагает обмен информацией с модулем с помощью блоков структурированных данных, называемых фреймами. API определяет правила формирования фреймов, в соответствии с которыми команды, ответы и статусные сообщения отправляются и принимаются из модуля [2]. Для настройки беспроводных модулей в тот или иной режим использовалась бесплатная и свободно-доступная программа X-CTU, разработанная специалистами компании Digi. Для создания беспроводной сети в режиме AT-команд с топологией «точка-точка» необходимо наличие одного координатора и роутера. Для настройки модулей необходимо:

- 1) подключить модули к ПК через интерфейс USB;
- 2) открыть программу X-CTU.
- 3) выбрать COM-порт подключенного модуля XBee.

Для настройки модуля в качестве координатора необходимо выполнить следующее: в параметре CE (Coordinator Enable) устанавливаем значение 1;

в параметре DL (Destination Address Low) устанавливаем значение FFFF - для широковещательной передачи данных.

Два модуля (роутер и координатор) подключены к двум разным ПК, создавая сеть с простой топологией рис.1.

Рис.1 Сеть с модулями в AT-режиме.

Используя среду графического программирования LabVIEW, разработан интерфейс пользователя. Для связи среды графического программирования LABVIEW с контроллером Arduino было использовано специальное приложение LIFA. При работе в режиме API все входящие и отправляемые данные содержатся во фреймах, определяющих поведение модуля. Фреймы данных на передачу (получаемые через DOUT-output (вывод 2) включают: фрейм данных для передачи по RF-каналу; фрейм управления (эквивалент AT-командам). Фреймы приема данных (отправляемые через DIN- input (вывод 3) включают: фреймы приема RF-данных; ответ на команду; оповещения - перезапуск, активацию и деактивацию ассоциирования и т.д.

Режим API обеспечивает альтернативный способ настройки модуля и маршрутизации данных на уровне хост-приложения. Теперь для изменения параметров модуля, например, адреса назначения, не обязательно переходить в режим управления. Вместо этого хост-приложения должно отправить модулю фрейм с необходимыми параметрами и данными. Прием данных от модуля также осуществляется с помощью фреймов, содержащих ответы на команды, статусные пакеты, адресную информацию или данные.

Используемые модули Xbee Series 2 поддерживают API фреймы, указанные в таблице 2.

Таблица 2

Наименования и значения API фреймов

В целях изучения структуры передачи данных и формирования фреймов в API-режиме с помощью программы X-CTU, изучена передача управляющей команды, назначенной для включения индикатора на удаленном модуле. Для включения индикатора на удаленном модуле был использован 17-фрейм – фрейм запроса удаленной команды. Данный фрейм используется, чтобы запросить или установить параметры модуля на отдаленном устройстве.

Структура фрейма подробно представлена в таблице 3.

Таблица 3

Структура 17 фрейма

Для отправки API-фрейма с помощью программы X-CTU, необходимо во вкладке «Terminal» записать фрейм и отправить на удаленный модуль.

После отправки API-фрейма практически сразу приходит ответный фрейм, в данном случае это фрейм 97 – фрейм ответ на удаленную команду. Данный фрейм указывает была ли команда выполнена или же показывает ошибки при передаче данных.

Разработана беспроводная сенсорная сеть (БСС), которая может служить в качестве модели для реализации любых сенсорных систем.

Прежде чем начать строить БСС, необходимо правильно настроить беспроводные модули. При настройках беспроводных модулей использовалась последняя версия программы X-CTU 5.2.8.6.

Топология разработанной БСС представлена на рисунке 2, полученной с помощью ПО X-CTU.

Рисунок 2 – Топология БСС

Для визуализации полученных значений температуры был использован программный продукт Processing. Processing – это среда разработки программного обеспечения с открытым исходным кодом, предназначенный для визуализации данных. В результате проведенного анализа и исследования режимов передачи данных беспроводных модулей Xbee можно сделать следующие выводы: использование передачи данных в прозрачном режиме имеет следующие особенности: простая конфигурация сети и настройка адресации; совместимость с любыми устройствами имеющими последовательный интерфейс; передача данных в общем потоке (поточная передача данных, также используемая в сотовых сетях). К недостаткам АТ-режима можно отнести: медленный переход из прозрачного режима передачи данных в режим команд управления; не позволяет использовать сложные топологии сети; не оптимизирован для встраиваемых и сложных систем передачи и сбора информации. Работа в режиме API упрощает многие операции, например, такие как: прием и передача данных на множество адресов без перехода в режим управления; получение статуса об отправке данных для каждого из отправленных RF-пакетов, а так же другой дополнительной информации; идентификацию исходного адреса для каждого полученного пакета; конфигурацию сети и удаленных модулей «по воздуху» (over the air-беспроводно); использование всех возможностей модулей [3].

Основным недостатком данного режима является сложность программирования формирования пакетов передачи данных (фреймов).

Таким образом, использование прозрачного режима является удобным, в случаях использования простой сети передачи данных и отсутствия необходимости частой конфигурации сети и адресов назначения. Для больших и сложных сетей, включающих узлы, назначенных на управление несколькими потоками, режим API является более оптимальным, т.к. позволяет проводить расширенную передачу данных, контролировать получаемые пакеты, обрабатывать события.

1. Mingming G., Liangshan S., Ning L. The Design of Wireless Smart Home System based on ZigBee // IACSIT Press. – 2012. – №53
2. Ю. Незнамов, В. Козаченко Перспективы использования беспроводных ZigBee – интерфейсов в электроприводе // Электронные компоненты. 2008. № 2 – С. 17–24;
3. Faludi R. Building Wireless Sensor Networks with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing. // A practical guide to the ZigBee Mesh Networking Protocol. – USA: O'Reilly Media, Inc., 2011- 321p.

РАЗДЕЛ III. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Амбалова З.А., Гахова Н.Н.

Имитационное моделирование задачи распределении обязанностей участников комплексных проектов

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
(Россия, Белгород)

doi:10.18411/spc-12-03-2018-03

idsp: 000001:spc-12-03-2018-03

Метод имитационного моделирования сочетает в себе особенности экспериментального подхода в условиях использования вычислительной техники при исследовании реальной системы по ее имитационной модели [1,2].

В качестве комплексного проекта будем понимать проект, ограниченный временными рамками, направленный на разработку, создание и внедрение крупных прикладных информационных систем [1]. При этом необходимо распределить и выполнить M различных работ между N сотрудниками. Эффективность выполнения проекта зависит от команды участников и уровня их компетенции, взаимодействия и распределения обязанностей между ними. Поэтому задача распределении обязанностей участников комплексных проектов в современных условиях является актуальной.

Для моделирования рассматриваемого процесса, целесообразно представить его как стохастическую систему, в которой переменные на входе и выходе являются случайными величинами, функциями, процессами или последовательностями. При этом необходимо проводить серию прогонов и статистическую обработку полученных результатов, чтобы иметь объективную характеристику изучаемого объекта [2]. Такую задачу можно отнести к задачам, решаемым методами математического программирования, как задачу о назначениях. Для ее решения необходимо устранить дисбаланс, добавив недостающие работы (если $n > m$) или сотрудников (если $n < m$). В этом случае требуется минимизировать ее целевую функцию (1):

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} * x_{ij} \quad (1)$$

т.е. необходимо распределить и выполнить n различных работ i между n сотрудниками j , так чтобы общие затраты Z на выполнение всех работ были минимальными. Исходными данными является таблица $C = \{c_{ij}\}$, с равным количеством строк и столбцов, элементами которой являются показатели эффективности назначений:

работа \ сотрудник	1	2	...	j	...	n
1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1j}	...	c_{1n}
...	...	...	...	...	...	...
i	c_{i1}	c_{i2}	...	c_{ij}	...	c_{in}
...	...	...	...	...	...	...
n	c_{n1}	c_{n2}	...	c_{nj}	...	c_{nn}

Задача о назначениях реализуется венгерским методом, алгоритм которого выполняется пошагово с получением редуцированной матрицы. Такая система была реализована в среде Borland C++ Builder, результаты представлены на рисунке 1.

Рисунок 1. Реализация венгерского алгоритма в среде Borland C++ Builder

Реализация такой системы позволяет эффективно распределить сотрудников на требуемые работы. При этом план работ составлен так, что все работы выполнены, каждый сотрудник занят, а общие затраты на выполнение всех работ минимальны.

При моделировании важно понимать насколько точно модель описывает реальный объект моделирования. Для этого существуют две проверки: валидация и верификация. Их основная цель – исследование свойств имитационной модели таких как: точность, устойчивость и чувствительность результатов моделирования [1].

Таким образом, используя методы имитационного моделирования и современные информационные технологии, было получено эффективное решение задачи о назначениях.

1. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов // Учебное пособие для слушателей программы eMBI / Лычкина Н.Н., Академия АйТи, Государственный университет управления, 2005
2. Сакалаускас Л. Нелинейная стохастическая оптимизация методом Монте-Карло // Стохастическая оптимизация в информатике: Межвузовский сб. / Под ред. проф. О.Н. Граничина. – СПб.: Изд-во СПб гос. ун-та, 2005.–Вып. 1.–С.190–205.

Преображенская Т.В.

Минимизация точек ввода данных в информационных системах

*Новосибирский государственный технический университет
(Россия, Новосибирск)*

doi:10.18411/spc-12-03-2018-04

idsp: 000001:spc-12-03-2018-04

При разработке баз данных (БД) информационных систем (ИС) аналитики опираются на известные принципы [1]. Их соблюдение позволяет обеспечить: недопустимость неточно введенных данных или дублирование; защиту от ошибок при обновлении; невозможность удаления связанных данных разных таблиц; неискажение данных при работе в многопользовательском режиме и др.

Но, любая ИС в процессе ее эксплуатации претерпевает ряд изменений - растет или уменьшается количество пользователей и рабочих мест, появляются новые запросы или исчезают те, что были раньше. Изменяются интерфейсы (формы экранов и

сценарии общения с пользователем), программное обеспечение системы и др. Современные подходы к разработке программного обеспечения - Scrum и Agile, нацелены на быстрое получение результата – работающего программного продукта, разработчики практически не оставляют документации и строгих инструкций по вводу данных. Современные интерфейсы имеют тенденцию к интеллектуализации – реализации общения с пользователем на практически естественном языке. Все это приводит к тому, что утрачивается строгость контроля ввода данных (одни и те же данные по семантике могут быть введены в таблицы БД по другим синтаксическим правилам), с разных рабочих мест одни и те же данные могут быть введены по другим правилам.

Утрата жесткого контроля правил ввода данных порождает многократное дублирование потоков данных - одну из самых главных проблем современных сложных ИС. Избыточные информационные потоки увеличивают непроизводительные затраты в жизненном цикле данных (ввод, хранение, извлечение, обработка, отображение), и порождают неопределенность, хаос, недоверие к отчетам, трудности интерпретации неоднозначных данных и другие проблемы, оказывающие влияние на качество данных. В результате база данных засоряется - накапливаются дублированные хранимые данные.

Один из подходов решения проблемы - использование современных средств очистки данных, используемых в технологиях добычи данных (Data mining). Возникает вопрос – зачем создавать неопределенность в структурированных данных, чтобы потом ее снимать с помощью интеллектуальных систем? Не проще ли иногда наводить порядок в данных. Один из приемов – использование систем управления взаимоотношениями с клиентами (CRM), когда в единой точке собираются корректные данные о потребителях, вводятся в БД и становятся централизованно доступными всем пользователям системы.

Предлагается еще один прием – предварительная семантическая проверка вводимых данных, для использования в системе сбалансированных показателей при информационном аудите системы. ИС периодически подвергается аудиту – необходимой процедуре для выявления соответствия ИС текущим информационным потребностям бизнеса, и далее - реинжинирингу (перестройке процессов сбора и алгоритмов обработки данных, изменениям концептуальной схемы БД и др.). Предварительная семантическая обработка данных на этапе аудита позволит выявить минимально необходимое количество вводимых данных, а далее и точек их ввода, что приведет, в конечном счете, к значительному снижению непроизводительных затрат и неопределенности. Глубокая аналитическая работа с данными - залог успеха проекта в целом (создание долгоживущей концептуальной схемы БД, которая в процессе эксплуатации не перестраивается, а развивается и наращивается).

Минимизация окончечных точек для ввода данных позволит значительно сократить дублирование данных при их вводе и хранении [2]. В реальных организациях множество ключевых показателей может включать в себя до сотни и больше отдельных показателей, записанных в разных обозначениях (примеры их записи даны в 4-м столбце таблицы). Необходима большая работа по анализу семантики показателей и их операндов, приведению их к единым обозначениям (примеры в столбце 5 таблицы). Свести данные в единую интегрированную систему, готовую к алгоритмизации и хранению в базе данных – задача аналитиков. Появление всякого нового показателя потребует вновь экспертизы семантической новизны самого показателя, атрибутов, операций и др. Деятельность аналитиков по выявлению точек ввода в ИС можно частично автоматизировать на основе предложенных алгоритмов.

Если представить каждый отдельный вычисляемый показатель иерархическим графом, в котором главная вершина – конечный результат вычислений, а другие вершины – операнды формулы, то на основе объединения элементарных (частных) графов можно получить избыточную сеть вычисления показателей организации. Например, для показателя $\Pi = A1 + A2$, а для показателя $A2 = A21 + A22$ можно

записать общую формулу вычисления показателя P в виде орграфа $P(A1, A2(A21, A22))$ [2,3,4]. Правило чтения записи орграфа – строго сверху вниз и слева направо на каждом уровне иерархии; скобка – начало нового уровня, запятая – разделитель при перечислении вершин на одном уровне, число пар скобок равно уменьшенному на единицу числу уровней иерархии. Алгоритм формирования обобщенного графа состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Для каждого отдельного показателя строится частный орграф, все вершины графа получают обозначение в соответствии с принятой единой системой обозначений (последний столбец таблицы).

Шаг 2. Каждый полученный иерархический граф записывается аналитически в виде матрицы $A=||a_{ij}||$, где $a_{ij} = 1$, если при вычислении вершины i используется вершина j и $a_{ij} = 0$, если при вычислении вершины i не используется вершина j . Матрица квадратная.

Шаг 3. Строится обобщенная матрица на основе включения всех строк и столбцов частных матриц без повторения (путем наложения частных графов).

Полученная обобщенная матрица – аналитическая запись орграфа системы показателей и ее можно обработать на вычислительной машине. Проиллюстрировать работу алгоритма можно на простом примере (таблица). Пусть мы имеем несколько простых показателей, представленных частными графами: $P1(P3, A1)$; $P2(P3, A2)$; $P3(A3, A4)$; $P4(P3, A5(A11, A15, A16))$; $P5$; $P6(A6, A7)$; $P7(A3, A8)$; $P8(A9, A10)$; $P9(A11, A12)$; $P10(P9(A11, 12), A13)$; $P11(A14, A12)$; $P12$; $P13(P12, A12)$. Выделение минимального набора хранимых данных (МНХД) позволит устранить дублирование данных, сократить объем хранимых в БД данных, необходимых для расчета показателей. В рассмотренном исходном варианте количество всех показателей и операндов составляло 35 (таблица). Выявление МНХД позволило сократить количество данных, необходимых для расчета, а, следовательно, и хранения, до 17 исходных значений. Приведенный алгоритм обеспечит согласованность данных в едином информационном пространстве вычислений.

Таблица

Фрагмент системы показателей организации и новые обозначения для интегрированной системы показателей

Группа системы показателей	Показатель	Единица измерения	Расчетные формулы в обозначениях разных специалистов	Соответствие обозначений специалистов новым обозначениям операндов в интегрированной системе показателей
1	2	3	4	5
Финансы	Капиталоотдача	%	$KO = \frac{BP}{K} * 100\%$	$KO - П_1; K - A1$
	Оборачиваемость текущих активов	%	$OTA = \frac{BP}{TA} * 100\%$	$OTA - П_2; TA - A2$
	Выручка от продаж	тыс. руб.	$BP = V_C * P$	$BP - П_3; V_C - A3; P - A4$
	Валовая прибыль	тыс. руб.	$Пр = BP - C / C (C = V * C_{ед} + C_{ст})$	$Пр - П_4; C / C - A5; C_{ед} - A15; C_{ст} - A16$
Клиенты	Количество постоянных потребителей	тыс. чел.	Q	$Q - П_5$
	Индекс удовлетворенности потребителей	%	$I = \sum_{j=1}^n \varphi(x_j) q_j$	$I - П_6; \varphi(x_j) - A6; q_j - A7$
	Прирост объема продаж	%	$\Delta V = \frac{V_C - V_P}{V_P} * 100\%$	$\Delta V - П_7; V_P - A8$
Внутренние бизнес-процессы	Длительность производственного цикла	день	$T_{ц} = T_{oc} + T_{mo}$	$T_{ц} - П_8; T_{oc} - A9; T_{mo} - A10$
	Производительность труда	шт./мес.	$Pa = \frac{V}{N_s}$	$Pa - П_9; V - A11; N_s - A12$
	Рост производительности труда	%	$\Delta Pa = \frac{Pa - Pa_2}{Pa_2} * 100\%$	$\Delta Pa - П_{10}; Pa_2 - A13$
Обучение и развитие	Коэффициент оборота по приему	-	$K_{np} = \frac{N_k}{N_s}$	$K_{np} - П_{11}; N_k - A14$
	Расходы на обучение	тыс. руб.	C_{ob}	$C_{ob} - П_{12}$
	Затраты на обучение 1 работника	тыс. руб.	$C_{об,к} = \frac{C_{ob}}{N_s}$	$C_{об,к} - П_{13}$

Толкование обозначений в алгоритмах: BP – выручка от продаж, K – вложенный капитал, TA – текущие активы, V_C – объем продаж в текущем периоде, P – цена единицы продукции, Пр – валовая прибыль, C/C – себестоимость, $\varphi(x_j)$ – относительное значение соответствия j-го показателя качества x_j , q_j – экспертный весовой коэффициент расчета комплексных показателей для j-го показателя множества $\{ \varphi \}$, V_P – объем продаж в предыдущем периоде, T_{oc} – длительность операционного цикла, T_{mo} – длительность межоперационных перерывов, V – выпуск продукции, N_s – среднестатистическая численность работников, N_k – количество принятого персонала.

Работа алгоритмов, написанных на VBA, опробована в среде MS Excel. Обобщенную матрицу можно также использовать для автоматизированного построения вычислительных процедур при расчете показателей. Предложенный подход позволит значительно сократить затраты времени, уменьшить количество ошибок при анализе данных, выявить МНХД для хранения и реализации всех расчетов. Кроме того, приведенные алгоритмы очень полезны при обучении студентов основам проектирования баз данных для иллюстрации идеи интегрирования данных в единую систему.

1. Бойко В.В., Савинков В.М. Проектирование баз данных информационных систем. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Финансы и статистика, 1989.-351с.
2. Преображенская Т.В. Формализация деятельности аналитиков, работающих в сфере бизнеса //Автомобильная промышленность, 2010, № 7, с.5-8
3. Каплан Р. С., Нортон Д. П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. / Изд. 2-е, испр. и доп.: Пер. с англ. - М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003.- 320 с.
4. Денисов А. А. Теория больших систем управления : учебное пособие для вузов по специальности "Автоматика и телемеханика"/ А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. Л.: Энергоиздат , 1982.- 287 с.

РАЗДЕЛ IV. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Михеевская М.А., Михеевский Е.В.

Алмазная обработка как способ увеличения износостойкости бурового инструмента для добычи высоковязкой нефти шахтным способом

*Ухтинский государственный технический университет
(Россия, Ухта)*

doi:10.18411/spc-12-03-2018-05

idsp: 000001:spc-12-03-2018-05

В Ухтинском районе Республики Коми расположено Ярегское месторождение тяжёлой высоковязкой нефти. С 1972 г. разработка месторождения ведётся по двухгоризонтной системе путём разбуривания пласта пологовосходящими скважинами из уклона.

Микротрещины, образующиеся в твердосплавном инструменте, являются причиной выхода его из строя. Износостойкость бурового инструмента значительно увеличивается за счёт дополнительной обработки его поверхностного (неглубокого наружного) слоя.

При изготовлении бурового инструмента применяются различные виды обработки, повышающие его прочностные характеристики, наиболее распространённым из которых является абразивная обработка алмазными кругами.

При шлифовании алмазными кругами характеристики алмазного круга и режимы шлифования влияют на режущую способность алмазных зёрен, а также обеспечивают различные усилия и температуры в зоне контакта круга со сплавом. В зависимости от режимов обработки и характеристик шлифовального инструмента существуют свои закономерности в изменении прочности твёрдости твёрдых сплавов для каждого вида шлифования.

В режущей зоне возникают более низкие, чем при шлифовании кругами из других материалов, но достаточно высокие контактные температуры. Дефектный слой, образующийся при данной операции, снимается калибрующей зоной, в результате этого прочность окажется ориентировочно на 30 % выше, чем в исходном состоянии.

Для повышения долговечности и прочности бурового инструмента не только рабочая, но и все остальные поверхности должны подвергаться алмазной обработке. Г. Л. Хаеом установлено, что время работы с твердосплавной пластиной, шлифованной алмазным кругом до поломки резцов, в 1,7 раза больше времени работы резцов с нешлифованными пластинами и в 1,5 раза больше для резцов с пластинами, шлифованными кругами из карбида кремния зелёного[1].

Снятие неглубокого наружного слоя твёрдых сплавов приводит к изменению напряжённого состояния околоповерхностных слоев, вне зависимости от мягкости режима обработки. Вследствие этого варьируются прочностные характеристики твёрдых сплавов, подвергнутых алмазной шлифовке.

Обработка алмазной шлифовкой бурового инструмента для добычи высоковязкой нефти шахтным способом предоставляет ряд преимуществ по сравнению с обработкой инструментом из карбида кремния зелёного и является надёжным способом формирования высококачественного неглубокого наружного слоя. При алмазной шлифовке обнаруживаются и формируются положительные изменения в тонкой кристаллической структуре, определяющие возникновение остаточных

напряжений сжатия в неглубоком наружном слое, и, как следствие, повышается износостойкость твёрдых сплавов, из которых изготовлен буровой инструмент.

Рекомендуем применять алмазную обработку бурового инструмента для добычи высоковязкой нефти шахтным способом, так как данный способ повышает износостойкость, улучшает эксплуатационные характеристики твёрдосплавных изделий и, как следствие, снижает затраты на ремонт и закупку нового оборудования.

1. Гарипов Владимир Станиславович. Повышение эффективности многослойных покрытий сложного состава на твердосплавном режущем инструменте : дис. канд. техн. наук : 05.16.01 Оренбург, 2006 185 с. РГБ ОД, 61:07-5/125.

Савкин А.А., Мусаев А.А.

Мультирегрессионный контроль мониторинга технологического процесса

СПбГТИ(ТУ)

(Россия, Санкт-Петербург)

doi:10.18411/spc-12-03-2018-06

idsp: 000001:spc-12-03-2018-06

Аннотация

Рассмотрен вопрос построения и применения системы взаимного контроля средств мониторинга на основе алгоритмов мультирегрессионного анализа в условиях хаотической динамики шумовой компоненты рядов наблюдений за стационарным состоянием технологического процесса. В качестве полигона данных используются нормированные временные ряды наблюдений, полученные в процессе мониторинга состояния ректификационной колонны. Оценке подлежит текущее значение технологического параметра по результатам наблюдений трех других, связанных с ним параметров.

Ключевые слова: технологический процесс, мониторинг, хаотические процессы, мультирегрессионные оценки, контроль состояния.

Введение. Значимой особенностью многих технологических процессов (ТП) является наличие корреляционной взаимосвязи между их отдельными параметрами. Отсюда возникает принципиальная возможность организации системы регрессионного контроля измерительной аппаратуры, входящей в систему мониторинга состояния ТП.

Действительно, по величине разладки между результатами измерений конкретного параметра ТП, и его мультирегрессионной оценкой, сформированной на основе коррелированных измерений, полученных другими измерительными средствами, можно сделать вывод о некорректной работе контролируемого измерителя. При этом возникает возможность не только установить факт неисправности прибора, но и вскрыть латентные неисправности, обусловленные, например, небольшой разладкой, медленным старением механизма, небольшим износом и т.п.

В то же время указанная выше методика в ряде случаев может иметь свои особенности, усложняющие и ограничивающие ее применение. Так, например, для многих ТП характерны стационарные состояния, определяемые регламентом их управления. В стационарном режиме вектор состояния ТП осуществляет флуктуационные колебания в некоторой m -мерной окрестности установленной регламентом рабочей точки. В случае, когда указанные флуктуации соответствуют модели независимых и стационарных случайных блужданий, корреляции между измерениями будут равны нулю, и процесс регрессионного восстановления будет невозможен. Однако на практике идеальный белый шум практически не встречается, большинство флуктуаций представляет собой некоторый хаотический процесс,

содержащий явно выраженные локальные тренды, обусловленные разнообразными, часто неизвестными факторами влияния. Наличие указанных трендов принципиально позволяет сформировать локальные регрессионные зависимости, которые, в свою очередь, дают возможность реализовать рассмотренную выше технологию контроля разладки контрольно-измерительной аппаратуры систем мониторинга ТП. Исследованию данного вопроса и посвящена настоящая статья.

Постановка задачи. Традиционной моделью прямых наблюдений состояния ТП [1-3] является аддитивная модель вида $Y_k = X_k + v_k, \quad k = 1, \dots, n$, где $\{X_k, \quad k = 1, \dots, n\}$ представляет собой системную компоненту (т.е. используемую для анализа и формирования управляющих решений), а $\{v_k, \quad k = 1, \dots, n\}$ – шумовую составляющую. В стационарном режиме ряды наблюдений обычно образуются колебательным непериодическим (или хаотическим) процессом. Шумовая компонента представляет собой нестационарный процесс, грубо описываемый гауссовской моделью с изменяющимися параметрами.

Хаотический характер рядов наблюдения не допускает примитивного описания рядов наблюдений в виде стационарного гауссовского процесса. Математический дескрипт включает в себя локальные тренды, обусловленные сложным характером взаимодействия большого числа возмущающих факторов.

В то же время в хаотической динамике наблюдений можно найти и полезные закономерности, связанные с многомерностью контролируемых процессов. В частности, при увеличении интервала наблюдения можно наблюдать достаточно устойчивые корреляционные связи между рядами наблюдений, полученными различными измерителями. Данное явление позволяет построить взаимные статистические зависимости, что, в свою очередь, дает возможность оценить текущее значение контролируемого параметра по группе коррелированных с ним наблюдений. Отсюда возникает реальная возможность построения индикатора разладки, значение которого в каждый момент времени будет определяться разностью между текущим измерением контролируемого параметра и его оценкой, построенной по коррелированной с ним группе наблюдений. Наиболее естественным механизмом построения такой оценки является многомерная линейная регрессия (мультирегрессия), базирующаяся на традиционном методе наименьших квадратов (МНК) [2-5].

Достаточно очевидно, что применение разности между оценкой параметра ТП и его текущим измерением может осуществляться путем использованием разнообразных критериев, определяющих исправность измерительного прибора. При этом в условиях хаотической динамики аналитические методы сравнения этих критериев реализовать невозможно. Отсюда возникает задача численного исследования диагностических стратегий, основанных на регрессионной оценке контролируемого параметра ТП, рассмотренная в настоящей статье.

Рис 1. Пример реализации наблюдений контролируемого параметра r_x и трех базовых регрессоров p_1, p_2, p_3

2. Мультирегрессионное оценивание состояния ТП. В качестве базового примера, используемого в настоящей статье, рассмотрим задачу оценки параметра ректификационной колонны P_x (например, температуру верха колонны). Для роли регрессоров будем использовать три других измеряемых параметра P_1, P_2, P_3 , коррелированных с оцениваемым параметром (например, охлаждающий поток, давление внутри колонны и температуру низа колонны).

На рис. 1 представлены временные графики наблюдений за указанными параметрами на некотором временном участке наблюдения. Нетрудно видеть, что оцениваемый параметр находится в корреляционной связи со всеми базовыми регрессорами.

В общем случае, многомерная линейная регрессионная модель имеет вид

$$\bar{Y}_i = \sum_{j=1}^m c_j X_{ji} + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

Уравнение регрессии представляет собой гиперплоскость в $(m+1)$ -м пространстве. При этом используется типовые допущения вида:

$$\text{cov}(Y_i, Y_j) = \begin{cases} 0, & i \neq j, \\ \sigma^2, & i = j. \end{cases} \quad E\{\varepsilon_i\} = 0, \quad \text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = \begin{cases} 0, & i \neq j, \\ \sigma^2, & i = j. \end{cases}$$

$$E\{X_{ki} \varepsilon_i\} = 0, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, m.$$

В дальнейшем для описания многомерной линейной регрессии будем использовать матричную нотацию [4, 5]:

$$\mathbf{c} = (c_1, c_2, \dots, c_m)^T, \quad \mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & X_{11} & \dots & X_{m1} \\ 1 & X_{12} & \dots & X_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_{1n} & \dots & X_{mn} \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)^T.$$

Минимизируя сумму квадратов ошибок

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} = (\mathbf{Y} - \mathbf{X}\mathbf{c})^T (\mathbf{Y} - \mathbf{X}\mathbf{c}),$$

приходим к системе нормальных уравнений, решение которых, в свою очередь, позволяет определить хорошо известное соотношение для МНК-оценки параметров регрессии $\hat{\mathbf{c}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y}$.

Для оценки векторного коэффициента передачи $\hat{\mathbf{c}}$ будет использоваться скользящее окно наблюдения $\mathbf{w}_i = (Y_{i-m}, Y_{i-m+1}, \dots, Y_i)$, $i = (m+1), \dots, n$, позволяющее снизить влияние нестационарности на качество обработки данных. Организация скользящего окна наблюдения и отвечающая ему схема структуризации данных представлена, например, в [6]. При этом информационная платформа анализа формируется в виде двумерной таблицы, в левой части которой представлены данные наблюдений за регрессорами, в роли которых, в данном случае, выступают технологические параметры P_1, P_2, P_3 . Правая часть таблицы представлена наблюдениями за оцениваемым параметром P_x .

Величину разности $d_i = \hat{Y}_i - Y_i$, где $\hat{Y}_i = \hat{\mathbf{c}}_i X_i$ – оценка параметра P_x , сформированная на основе текущих значений регрессоров.

Рис 2. Наблюдения параметра p_x и их регрессионные оценки

Рис 3. Разность и сглаженная разность между наблюдениями p_x и их регрессионными оценками

На рис. 2 приведены графики наблюдений изменения параметра p_x и его регрессионная оценка, построенная по указанной выше триаде базовых измерителей. На рис. 3 представлена разность d_i , $i = 1, \dots, n$ между измерениями p_x и их регрессионными оценками, а также сглаженная версия этого процесса. Сглаживание осуществлялось простейшим экспоненциальным фильтром с коэффициентом передачи $\alpha = 0.05$.

Исследуем вопрос о простейшем применении указанной разности для построения системы (методики) регрессионного контроля состояния измерителя.

Реализация вычислительной схемы мультирегрессионного оценивания. Простейшая методика контроля состояния измерителя, основанная на использовании вычислительной схемы мультирегрессионного оценивания, может быть построена путем проверки гипотезы $H_0 : |d_i| \leq d^*$. Если $d_i > d^*$, то это означает, что $Y_i > \hat{Y}_i$, т.е. инструмент дает завышенное значение. Наоборот, если $d_i < -d^*$, т.е. $Y_i < \hat{Y}_i$, означает недооценку инструментом значения измеряемого параметра.

Рис 4. Графики изменения наблюдений p_x и решающей статистики dx

Статистический подход означает определение критического значения d^* исходя из таблиц его распределения (или распределения связанной с ним статистики) и заданного уровня доверия. Однако в условиях хаотической динамики такой подход может оказаться недееспособным и критическое значение приходится выбирать приблизительно, исходя из предварительного анализа ретроспективной информации на достаточно большом интервале наблюдений. В качестве примера рассмотрим изменение статистики $d_i = \hat{Y}_i - Y_i$ для того же параметра p_x на большом временном интервале с шагом 5 минут. Соответствующий график, а также его сглаженная версия и уровни принятия решения приведены на рис.4. В качестве заведомо заниженного уровня принятия решения принято значение среднеквадратического отклонения (ско). Здесь оценка ско разностного процесса $s = 24.7$, а для сглаженного процесса $s = 21.5$. Очевидно, что для формирования заключения о неисправности измерителя требуются значительно более высокие пороги решения.

Рис 5. Гистограмма сглаженного процесса d_i

На рис. 5 приведена гистограмма d_i , $i = 1, \dots, n$, демонстрирующая слабую сходимость плотности распределения указанной разности к гауссовскому распределению. Данная картина является статичной, при рассмотрении ее в динамике видно, что все моменты распределения изменяются во времени, а следовательно процесс является сугубо нестационарным.

Вернемся к совмещенному графику исходного процесса и решающей статистики d_i , $i = 1, \dots, n$ (рис. 4). В соответствие с описанной выше простейшей диагностической

стратегией, выносится решение о том, что прибор дает заниженное значение измеряемого параметра, если значение решающей статистики превышает пороговое значение, т.е. $d_s(t) > d_s^*$. И наоборот, предполагается, что прибор дает заниженное значение измеряемого параметра, если $d_s(t) < -d_s^*$. Из графика нетрудно видеть, что устойчивого подтверждения прогноза тенденции в сторону, соответствующую переоценке или недооценке показание прибора нет.

Причина этого явления также очевидна: движение в направлении, указанном решающей статистикой, определяется его оценкой по результатам наблюдения трех других, коррелированных с ним параметров, выступающих в роли регрессоров. В то же время существуют и другие, внешние факторы, вызывающие появление динамических трендов. Совокупность этих движений даст окончательный вид динамики, направленность которой определяется векторной суммой разнородных и слабо прогнозируемых факторов влияния.

Можно сделать предположение, что на боковом тренде рабочей точки мультирегрессионный индикатор будет работать достаточно эффективно при правильно выбранных регрессорах и значениях параметров алгоритма. Однако при наличии сильного тренда, обусловленного преобладающим внешними факторами, будет преобладать соответствующая тенденция, мажорирующая влияние фактора несоответствия текущей измерения по отношению к его статистической оценки.

Заключение

Полученные в статье материалы позволяют сделать вывод о том, что применение мультирегрессионных оценок позволяет построить индикаторную оценку и отвечающую ему диагностическую стратегию, допускающую принципиальную возможность получения положительного результата. Существенным отличием данного подхода является отсутствие требования к выявлению и использованию тренда наблюдаемого процесса. Это позволяет отказаться от традиционной пролонгационной схемы прогнозирования, что принципиально важно при работе с хаотическими или нестационарными процессами, характерными для стационарных режимов ТП.

По существу, происходит замена прямого прогнозирования нестационарного процесса косвенным предсказанием значений параметров ТП. Такой подход существенно повышает устойчивость прогноза к хаотическим вариациям шумовой компоненты рабочей точки. Тем не менее, существует достаточно много ситуаций, в которых предложенная методика приводит к негативному результату. В частности, индикаторная переоценка параметра во время сильного положительного тренда, связанного, например, с переходными режимами ТП, при механистическом подходе может привести к ошибкам типа ложной тревоги. Для преодоления таких ошибок необходимо использовать комплексный подход к контролю средств мониторинга ТП. Технология такого предсказания, также, как и анализ альтернативных, более сложных диагностических стратегий, основанных на мультирегрессионных оценках, составляют предмет дальнейших исследований.

1. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами // М.: Мир, 1973. — 957 с.
2. Современные методы идентификации / Под ред. П. Эйххоффа. // М.: Мир. 1983. — 400 с.
3. Элементы теории испытаний и контроля технических систем // В.И. Городецкий, А.К. Дмитриев, В.М. Марков и др. Под ред. Р.М. Юсупова. - М.: Энергия, 1978. - 191с.
4. Болч Б., Хуань К. Многомерные статистические методы для экономики // Пер. с англ. под ред. С. А. Айвазяна М.: Статистика, 1979. 317с.
5. Демиденко Е. З. Линейная и нелинейная регрессии // М.: Финансы и статистика, 1981. 302с.
6. Мусаев А.А., Барласов И.А. Анализ динамических характеристик состояния рынка ценных бумаг // Труды СПИИРАН. Вып. 6. 2008. С. 150–160.

Старков И.О., Дмитриева М.Л.

Формы внедрения автоматизированных систем в наукоёмкое производство

*Сибирский государственный университет науки и технологий
им. академика М.Ф. Решетнева
(Россия, Красноярск)*

doi:10.18411/spc-12-03-2018-07

idsp: 000001:spc-12-03-2018-07

Аннотация

В данной статье описаны и рассмотрены виды автоматизации. Показаны, какие преимущества имеет предприятие при автоматизации производства, и с какими трудностями, ему предстоит столкнуться.

Ключевые слова: автоматизация, наукоёмкое производство.

Автоматизация производства – в первую очередь это оснащение производства техническими, новыми средствами, которые позволяют одновременно выполнять работу на всех производственных этапах.[1]

В современной экономике невозможно представить предприятие без автоматизированных систем и без высокотехнологичного оборудования. В свою очередь это всё позволяет предприятиям увеличивать объёмы изготавливаемой продукции, выполнять сложные задачи за более короткий срок, справляться с задачами, недоступными человеческими руками в определённых условиях. Есть несколько видов автоматизации, полная, комплексная, либо частичная, где человеческий труд тесно взаимосвязан с машинами.

Полная автоматизация представляет собой внедрение автоматических систем управления и технического оборудования, способного целиком контролировать все процессы производства на предприятии без участия людей. Этот метод автоматизации применяется на крупных заводах, на которых уже есть чёткий неизменный механизм выполнения последовательных операций.

Комплексная автоматизация проводится в пределах завода, или любого структурного подразделения. В этом способе автоматизации, человеку необходимо создать организация работы и контролировать рабочую технику. К тому же необходимо производить переобучение персонала.

Частичная автоматизация, представляет собой замену небольших технических единиц, которые выполняют однотипные простые операции.

Затраты на любую автоматизацию для производства велики, но в свою очередь повышается производительность, качество изделия. Это объясняется тем, что машины не требуют обеденных перерывов, отпусков, а просто выполняют работу на протяжении всего срока эксплуатации. Сокращается потребления расходных материалов и сырья, так как автоматические линии допускают в разы меньше ошибок, чем работник.

Если говорить об автоматизации электронной системы предприятия, плюсами является возможность быстрого доступа к необходимым документам, что ощутимо сокращает затраты времени. К тому же, снижается риск утечки конфиденциальной информации за пределы фирмы.

Цена автоматизации зависит от многих факторов и от выбранного способа автоматизации. Понятно, что при полной автоматизации предприятию придётся заплатить большую сумму денег, нежели чем на комплексную автоматизацию. Учитываются затраты на покупку оборудования, установку, приобретение лицензий на оборудование. [2]

Есть специальные обученные специалисты, которые утверждают целесообразность данной трудоёмкой процедуры, проводят подсчёты общих затрат на внедрение автоматизации. Если специалист утверждает, то следует прислушаться к его мнению.

Выделяют следующие принципы работы автоматизированных процессов, среди них такие как:

- принцип согласованности – все процессы должны быть связаны между собой и проходить без сбоев;
- принцип интеграции – автоматизированный процесс должен гармонично вписываться в другие производственные операции;
- принцип независимости исполнения – процесс должен быть выполнен без участия человека, непосредственно программой или автоматом.

Перечисленные выше принципы являются достаточно общими и в зависимости от конкретных операций и уровня автоматизации могут уточняться и детализироваться.

Несмотря на все перечисленные преимущества, необходимо помнить, что процесс автоматизации является дорогостоящим и требует серьезных усилий. Следовательно, он может быть не всегда экономически целесообразен.

1. Богров, П.К. Автоматизация научных исследований и измерений в машиностроении, М., 1968-85с.
2. Курков, М. И. Автоматизация производства и промышленная электроника, т. 1-4, М., 1962 — 65с.

Филина О.А., Галиуллин Д.Р., Ахмадеев Р.И.
Модель технической диагностики ГЭТ и ГТД

*Казанский Государственный Энергетический Университет
(Россия, Казань)*

doi:10.18411/spc-12-03-2018-08

idsp: 000001:spc-12-03-2018-08

Техническая диагностика является составной частью технического обслуживания. Основной задачей технического диагностирования является обеспечение безопасности, функциональной надёжности и эффективности работы технического объекта, а также сокращение затрат на его техническое обслуживание и уменьшение потерь от простоев в результате отказов и преждевременных выводов в ремонт.

Диагностирование технических объектов включает в себя следующие функции:

- оценка технического состояния объекта;
- обнаружение и определение места локализации неисправностей;
- прогнозирование остаточного ресурса объекта;
- мониторинг технического состояния объекта.

Под диагностическими параметрами понимают репрезентативные параметры, по которым можно судить о состоянии объекта. Различают прямые и косвенные диагностические параметры. Первые непосредственно характеризуют состояние объекта, а вторые связаны с прямыми параметрами функциональной зависимостью.

При функциональной диагностике объекта в процессе его работы - наряду с отдельно рассматриваемыми параметрами - могут использоваться также как признак состояния функциональные связи (функциональные зависимости) параметров.

В зависимости от технических средств и диагностических параметров, которые используют при проведении диагностирования, можно составить следующий неполный список методов диагностирования:

- органолептические методы диагностирования, которые основаны на использовании органов чувств человека (осмотр, слушивание);
- вибрационные методы диагностирования, которые основаны на анализе параметров вибраций технических объектов;
- акустические методы диагностирования, основанные на анализе параметров звуковых волн, генерируемых техническими объектами и их составными частями;
- тепловые методы; сюда же относятся методы диагностирования, основанные на использовании тепловизоров;
- трибодиагностика;
- диагностика на основе анализа продуктов износа в продуктах сгорания;
- Метод акустической эмиссии;
- радиография;
- магнитопорошковый метод;
- вихретоковый метод;
- ультразвуковой контроль;
- капиллярный контроль;
- методы параметрической диагностики .
- специфические методы для каждой из областей техники (например, при диагностировании гидропривода широко применяется статопараметрический метод, основанный на анализе задресселированного потока жидкости; в электротехнике применяют методы, основанные на анализе параметров электрических сигналов, в сложных многокомпонентных системах применяют методы диагностирования по стохастическим отклонениям параметров от их осредненных значений и т.д.).

Общей проблемой технической диагностики является достижение адекватной оценки распознавания истинного состояния объекта и классификации этого состояния (нормального или аномального).

При проведении технического диагностирования для подтверждения нормального состояния объекта выделяют две основные задачи:

- обеспечение получения достоверной информации;
- обеспечение приемлемой оперативности получения информации.

При проведении технического диагностирования для выявления аномалий выделяют две основные проблемы:

- вероятность пропуска неисправности;
- вероятность «ложной тревоги», то есть вероятность ложного сигнала о наличии неисправности.

Чем выше вероятность «ложной тревоги», тем меньше вероятность пропуска неисправности, и наоборот. Задача технической диагностики неисправностей состоит в нахождении «золотой середины» между этими двумя проблемами.

1. Технические средства диагностирования: Справочник/В. В. Ключев, П. П. Пархоменко, В. Е. Абрамчук и др.; под общ. Ред. В. В. Ключева. — М.: Машиностроение, 1989. — 672 с.
2. Алексеева Т.В., Бабанская В.Д., Башта Т.М. и др. Техническая диагностика гидравлических приводов. // М.: Машиностроение. 1989. — 263 с.

Чжан Р.В.**Опыт строительства гидротехнических сооружений в Якутии и изменение инженерно-геологических условий территории под влиянием гидроузлов и меняющегося климата***Институт мерзлотоведения им П. И. Мельникова СО РАН
(Россия, Якутск)**doi:10.18411/spc-12-03-2018-09**idsp: 000001:spc-12-03-2018-09***Аннотация**

По хозяйственному назначению гидротехнические сооружения в Якутии возводятся для создания водохранилищ гидроэлектростанций, хвостохранилищ горнообогатительных предприятий, прудов охладителей тепловых электростанций, водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий, а также сельскохозяйственных нужд. Приводится опыт строительства гидротехнических сооружений на территории Якутии. Рассмотрены инженерно-геокриологические особенности формирования температурно-криогенного режима этих сложных природно-технических систем в суровых природно-климатических и сложных геокриологических условиях криолитозоны. Показана роль мониторинга, как способа ранней диагностики состояния сооружений с целью принятия превентивных мер по обеспечению устойчивости гидроузлов.

Ключевые слова: криолитозона, многолетнемерзлые породы, гидроузел, плотина, температурно-криогенный режим, природно-техногенная система, теплообмен, фильтрация, устойчивость сооружения.

По хозяйственному назначению гидротехнические сооружения в Якутии возводятся для создания водохранилищ гидроэлектростанций, прудов охладителей тепловых электростанций, хвостохранилищ горнообогатительных предприятий, водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий, а также сельскохозяйственных нужд. Гидротехническое строительство в условиях крайнего Севера, в криолитозоне, существенно отличается от районов вне зоны распространения многолетнемерзлых пород и выделено в самостоятельное направление – гидротехника Крайнего Севера.

В практике северного гидростроительства получили широкое распространение плотины из местных материалов – земляные, каменно-земляные, каменно-набросные. Фильтрационная устойчивость плотин в зависимости от климатических, геологических и инженерно-геокриологических условий оснований обеспечивается противофильтрационными элементами (экраном или ядром), которые в зависимости от температурного состояния определяют тип плотин – талый (фильтрующие) и мерзлый (нефильтрующие). Ниже по тексту будут рассмотрены все гидроузлы энергетического профиля и отдельные питьевого и сельскохозяйственного назначения.

Гидротехнические сооружения энергетического назначения

Гидротехнические сооружения энергетического назначения представлены двумя гидроузлами, расположенные в Западной Якутии, на р. Вилюй левом притоке р. Лена, объединенные в каскад Вилюйских ГЭС: Вилюйская ГЭС–1,2 (пос. Чернышевский), Вилюйская ГЭС-3 (Светлинская ГЭС, пос. Светлый) и плотиной Нерюнгринской ГРЭС на р. Олонгоро (пос. Серебряный бор, Южная Якутия).

Природно-климатические, геологические, инженерно-геокриологические, гидрогеологические условия строительства довольно подробно изложен в научно-

технической литературе [1], [2], [3], [4], [5], [6]. Изыскания и исследования района строительства ГЭС засвидетельствовали сложные природно-климатические, геологические и инженерно-геокриологические условия района. Наличие многолетнемерзлых пород и непростые криогидрогеологические условия осложняют устойчивую работу гидротехнических сооружений ГЭС. Мониторинговые исследования за гидроузлом показали, что комплекс гидротехнических сооружений, входящий в состав гидроузла, образовали сложную природно-техническую систему, которая стала «жить» по законам естественной природы, одновременно оказывая техногенное влияние на неё.

Вилуйская ГЭС-1, 2 – это первая гидроэлектростанция в мире, построенная в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Установленная мощность электростанции 680 МВт. Предназначена для энергоснабжения Западного Якутского района Республики Саха (Якутия). Гидроузел расположен в верхнем течении реки Вилуй, на 1348 км от устья, вблизи пос. Чернышевский Мирнинского района (координаты: 63°01' с. ш. 112°28' в. д.). Годы строительства гидроузла 1959 - 1967 гг, 1970 г - начало эксплуатации.

В климатическом отношении район каскада Вилуйских ГЭС относится к Восточно-сибирской климатической области. Климат района резко континентальный с продолжительной холодной зимой и коротким, но относительно теплым летом при большом диапазоне годовых и суточных амплитуд температуры воздуха. Среднегодовая температура воздуха за многолетний период составляла -7,90С. Среднегодовое количество осадков около 380 мм. Наибольшая высота снежного покрова составляет около 80 см, максимальная наблюдаемая за зиму - около 100 см. Таковы были климатические параметры района до начала возведения гидроузла. За период эксплуатации сооружений средняя годовая температура воздуха повысилась на 1,7°С и составила - 6,2°С, а количество осадков в среднем увеличилось на 43 мм.

При изложении результатов исследования на гидроузлах Вилуйского каскада ГЭС, как впрочем и на других гидротехнических сооружениях, мы старались подчеркнуть трансформацию природной среды под влиянием деятельности человека и изменении климата на Земле, а также обратить внимание на условия, в которых стали функционировать сооружения.

В геологическом отношении гидроузел расположен в восточной части Сибирской платформы в области сочленения двух крупных разновозрастных структур – верхнепалеозойской Тунгусской синеклизы и мезазойской Вилуйской впадины. Представляет территорию, где развиты три комплекса пород двух формаций (осадочных и магматических), перекрывающих друг друга: нижнепалеозойский (кембрий - ордовик), верхнепалеозойский (пермь - карбон) и мезозойский (триас - юра). В створе плотины геологическое строение долины р. Вилуй определяется мощными интрузиями диабазов: на правом склоне в его верхней части включающими ксенолиты пермских песчано-глинистых и известковых пород, на левом – туфогенными породами триаса. Практически весь массив диабазов разбит системой трещин различной ориентации.

Четвертичные отложения представлены песчано-галечными аллювиальными породами, а также щебенистым суглинком [7] (Ефимов, 1959).

Район относится к сплошной криолитозоне, мощностью 200-400 м, с температурой грунтов от -2 до -60С. Глубина сезонного протаивания в зависимости от литологического состава, влажности и орографии изменяется от 0,5 до 5 м. Льдистость коренных пород не превышает 1-3%, рыхлых четвертичных – 25-35%, озерно-болотных до 100%. Криогенные образования представлены солифлюкцией, буграми пучения,

термокарстам и наледями [3], [5]. Гидрогеологические условия определяются принадлежностью гидроузла к Якутскому артезианскому бассейну. Подземные воды представлены надмерзлотным горизонтом сезонноталого слоя и подмерзлотным водоносным горизонтом, на глубинах 300 – 320 м, минерализованных вод (150 г/л)[5].

В состав гидроузла входят следующие гидротехнические сооружения: каменно-набросная плотина; здания ГЭС-1 и 2 с подводящими и отводящими каналами, водоприемниками, напорными водоводами; водосброс; водосбросной канал; водохранилище. Ниже приведена краткая характеристика только тех сооружений, на которых проводятся мониторинговые исследования.

Каменно-набросная плотина талого типа с суглинистым экраном переходящим в основании в бетонный зуб, а в верхней части в ядро, прикрытого песчано-гравийной смесью. Высота плотины 75 м, длина по гребню 600 м. При возведении плотины выветрелые коренные породы и рыхлые четвертичные отложения основания были удалены. Сопряжение экрана со скальным осуществлено с помощью армированной плиты и потерны, из которой в последствие произведена цементация основания по всему створу. Противофильтрационное устройство – экран отсыпан из суглинисто-дресвяных грунтов по двойному обратному фильтру из дроблёного долерита. Следует отметить, что на строительстве Вилуйской ГЭС впервые в мировой практике была разработана технология возведения противофильтрационного устройства из связных грунтов при температуре наружного воздуха до минус 400С [8], [9].

Низовая упорная призма отсыпалась из крупнообломочных пород с небольшим количеством мелкозема слоями 10-20 м пионерным способом с верхней бровки уступа, главным образом зимой, с уплотнением груженым автотранспортом. Летом для уплотнения наброски использовались гидромониторы.

Бетонный водосброс береговой, практического профиля расположен в правобережном примыкании плотины ГЭС-1 и представляет собой однопролетное отверстие шириной 40м с порогом на отн.231,0м, перекрываемое сегментным стальным затвором высотой 16,0м. Расход при НПУ- 3900 м³/сек, при ФПУ - 5200м³/сек. Водосброс имеет горизонтальный порог длиной 20,4 м и продолжается криволинейным в плане водосбросным каналом открытого типа.

Конструктивные особенности гидроузла обусловили динамику формирования его температурно-криогенного режима. Не останавливаясь на тонкостях теплообмена в различных частях тела и основания плотины, эти процессы подробно описаны в трудах А.Е. Демидова [10], Р.М.Каменского[11], Б.А. Оловина[12], Н.А. Мухетдинова[13], Я. А. Кроника[14], отметим общие тенденции формирования термо-криогенного процесса.

За период эксплуатации гидроузла, особенно в первые годы, в теле и основании сооружения происходили знакопеременные тепловые процессы в продольном и поперечных направлениях сооружения. Причем разнонаправленные процессы могли происходить одновременно. Такое тепловое состояние безусловно формировало и формирует в нём сложное термонапряженное состояние и требует пристального контроля за устойчивостью как отдельных узлов, так и сооружения в целом. Сооружение до сих пор остаётся в неустановившемся термонапряженном состоянии, а исследование температурно-криогенного режима гидроузла показало сложную динамику его формирования на фоне круглогодичного разрушения каменной наброски с образованием мелкозема, закупоривающего поры наброски[15].

В настоящее время устойчивость гидроузла в целом соответствует нормам безопасности, регламентированной директивными документами. Однако проблемы устойчивости правобережного примыкания плотины, выявленные на основе анализа

многолетних мониторинговых наблюдений свидетельствуют о том, что с 1996 г. наметились деформации правобережного массива. Причиной потери устойчивости массива явилось резкое повышение, до положительных значений, температуры пород.

Развитие таликовой зоны в правобережном примыкании плотины свидетельствует об активизации тепловых процессов в ксенолитах карбонатных пород, свойства и контуры которых в период изысканий были исследованы не в полной мере. Оказалось, что эти породы при оттаивании теряют не только прочностные, но и фильтрационные свойства. В настоящее время проводится доисследование инженерно-геокриологических условий этого участка и разрабатывается проект реконструкции правобережного примыкания.

Водохранилище долинного типа, сезонного регулирования. Характерной особенностью водохранилища является очень сложная конфигурация его береговой линии, представляющая собой чередование озеровидных расширений и каньонообразных участков, присутствие многолетнемерзлых льдистых пород, и сложная гидрогеологическая обстановка, обусловленная наличием высоко минерализованных подземных вод. Площадь водной поверхности при НПУ 245,0 м составляет 2170 км², площадь затопления земель – 1112 км². Длина водохранилища 470 км, ширина до 18 км, глубина до 70 м. Полная и полезная емкость водохранилища соответственно равны 40,4 и 22,4 млн. м³. Общая протяженность береговой линии составляет более 2500 км. Берега были систематизированы по геологическому строению, типизированы по размываемости и морфологии (скальные, нейтральные, аккумулятивные, термоденудационные, термоабразионные, термокарстовые) [16], [17], [18].

Заполнение водохранилища до НПУ происходило с 1967 по 1973 годы. С тех пор водохранилище эксплуатируется в нормальном режиме, отражающий внутригодовой сток и график сработки.

Аналогов строительства и эксплуатации подобного водохранилища в криолитозоне не было. Поэтому с самого начала его эксплуатации была поставлена цель изучить процессы теплового и механического взаимодействия ложа и берегов с водными массами, а также разработать методику расчета изменения их морфологических параметров.

Многолетние мониторинговые наблюдения и теоретические разработки показали особенности морфологии ложа и берегов водохранилищ в криолитозоне. Средние скорости разрушения термоабразионных берегов Вилуйского водохранилища за многолетний период эксплуатации (1970–2011 гг.) составили 0,35–1,41 м/год. Морфологические исследования показали, что со временем вмещающий объем ложа водохранилищ в криолитозоне увеличивается. Для Вилуйского водохранилища за период с 1967 по 1982 гг. увеличение объема оценивается всего лишь величиной 0,05 км³ или 0,14% [19]. Процесс формирования морфологии ложа и берегов водохранилища близок к квазиустановившемуся. Наблюдения за формированием берегов проводятся с 1970 г по настоящий период [20].

Таким образом, гидроузел, по своей сути, явился натурной моделью, на котором вот уже полвека ведется мониторинг, что позволяет визуализировать состояние этой сложной природно-технической системы и вовремя разрабатывать и принимать те или иные инженерные решения по обеспечению её устойчивости.

Следует отметить, что строительство и эксплуатация гидроузла проходило на фоне глобального изменения климата, которое оказывает существенное влияние на процессы, происходящие в слое годовых теплооборотов литосферы, где расположены природно-технические системы, устойчивость которых зависит от теплового состояния

горных пород. В этих условиях большое значение приобретают мониторинговые исследования (геокриологический мониторинг), которые уточняют природную среду и условия работы в ней гидротехнических сооружений.

Вилуйская ГЭС-3 (Светлинская ГЭС) руслового типа входит в состав Вилуйского каскада ГЭС (координаты: 63004/с. ш. 113029/в. д.). Предназначена для энергоснабжения объектов алмазодобывающей и газонефтяной промышленности Якутии. Проектная мощность ГЭС — 360 МВт. Строительство ГЭС началось в 1979 году, в 2008 году станция была официально принята в эксплуатацию с тремя из четырёх генераторов.

Не останавливаясь на природно-климатических условиях района возведенной ГЭС, которые описаны выше, отметим, что орография района строительства сформирована р. Вилуй и её многочисленными притоками, которые прорезают трапповое плато, образуя узкую каньонообразную долину. Склоны долины имеют сложный профиль: верхняя часть сложена интрузивными породами, а средняя и нижняя – глинисто-карбонатными породами. Левый берег р. Вилуй имеет крутые склоны по отношению к правому, более пологому берегу.

В геологическом отношении район створа плотины расположен на стыке тектонических структур Сибирской платформы – Вилуйской и Тунгусской синеклиз с наложенным Ангаро-Вилуйским прогибом, где на участке Ботуобинской седловины, на Сюльдюкарском своде и размещена ВГЭС-3. Коренные породы района представлены морскими отложениями глинисто-карбонатных толщ верхнего кембрия, трапповыми интрузиями триаса, терригенными отложениями карбона, перми, юры, и перекрыты комплексом четвертичных отложений различного генезиса. В разрезе бортов долины четвертичные отложения и коренные породы, вовлеченные в оползневые дислокации.

Гидроузел расположен в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты со сквозным таликом под руслом р. Вилуй. Криогенная толща общей мощностью 300 м. имеет двухъярусное строение. В верхней части многолетнемерзлые породы находятся в пластичном или твердомерзлом состоянии, в нижней – пористо-трещинная среда имеет отрицательные температуры, заполнена криопэгами и не содержит ледяных включений. Мощность слоя сезонного протаивания изменяется от 0,45 до 4 м. Температура мерзлых пород на подошве слоя годовых колебаний составляет $-0,6$ – $-6,30^{\circ}\text{C}$. Льдистость коренных пород в среднем 3-5 %, на отдельных участках до 15%. В четвертичных склоновых и аллювиальных отложениях преобладает массивная, линзовидная, базальная криогенная текстура, льдистость пород изменяется от 5 до 60% [5].

В связи со строительными работами в котловане на ряде участков произошли изменения мерзлотных условий. В результате проведения электрооттайки по фронту цементационной завесы под строительными штольнями на левом берегу р. Вилуй, произошло растепление мерзлого массива от $-(2 \div 3)^{\circ}\text{C}$ до 70°C . Аналогично растепление мерзлого массива наблюдалось в основании правобережной каменно-земляной плотины в откосах продольной перемычки перед строительным каналом. После вскрытия котлована слой годовых колебаний опустился на глубину врезки по всему склону и имеет мощность 18 м и более.

Гидрогеологические условия района гидроузла характеризуется распространением подземных вод, которые по отношению к многолетнемерзлым породам подразделяются на надмерзлотные, подмерзлотные и воды таликовой зоны под долиной р. Вилуй. Надмерзлотные воды – безнапорные пресные (минерализация до 0,1 г/л), подмерзлотные воды – напорные, сильноминерализованные (минерализация 80

г/л). Криопэги приурочены к трещинной системе и пористой среде нижнего яруса первой надпойменной террасы.

Водопроницаемость грунтов в строительном котловане оценивалась средним коэффициентом фильтрации 1 м/сут, а отдельных прослоев известняков и доломитов 10 м/сут. Коэффициент фильтрации оползневых блоков при их оттаивании в пределах пород илгинской свиты составит 50-100 м/сут, верхоленской свиты 1-6 м/сут. Коэффициент фильтрации пород с зияющими трещинами бортового отпора в левом борту долины оценивается в тысячи метров в сутки.

С целью обеспечения статической и фильтрационной устойчивости гидроузла была проведена цементация береговых примыканий и основания в створе плотины. Для осуществления этих работ многолетнемерзлые породы основания были подвержены оттаиванию электрическим способом на глубину до 60 м [21].

Необходимо отметить, что вышеприведенные инженерно-геокриологические условия строительства по своей сложности не имеют мировых аналогов. В связи с этим возникает комплекс проблем по обеспечению устойчивости гидроузла в целом. Наличие в основании и бортах речной долины слабо прочных мергелисто-глинистых пород, нарушенных оползневыми процессами, а также открытых гравитационных трещин (до 4 м); минерализованных напорных вод и криопегов гидравлически связанных с водами водохранилища, которые при взаимодействии с льдистыми породами создают предпосылки обходной фильтрации могут создать проблему гидродинамической устойчивости геокриологической среды основания ГЭС.

В состав гидроузла входят: левобережная насыпная плотина длиной 112 м и наибольшей высотой 50 м; правобережная насыпная плотина длиной 273 м и наибольшей высотой 50 м, с общей длиной напорного фронта 537 м, включая совмещённое русловое здание ГЭС; подводящий и отводящий каналы; водохранилище площадью 104 км², полной и полезной ёмкостью 1,08 и 0,19 км³, длиной 141,2 км, шириной до 0,46 км, глубиной до 50 м. При создании водохранилища затопливается 288 га сельхозугодий.

К сожалению, мы не обладаем данными мониторинга гидроузла в последние годы, так как ВГЭС-3 принадлежит частной компании и информация носит закрытый характер. И тем не менее, следует констатировать, что сооружение успешно эксплуатируется уже в течение 10 лет.

Плотина Нерюнгринской ГРЭС (координаты 56040/с.ш. и 1240 51/в.д.) является первым гидротехническим сооружением в мире, которое построено на высоте 1000 м в условиях вечной мерзлоты на площадке с сейсмичностью в 9-10 баллов. Плотина построена в долине р. Олонгоро, в Южной Якутии, для технических нужд Нерюнгринской ГРЭС, с общей установочной мощностью 1220 Гкал/час, электрической мощностью 570/630 МВт. Годы строительства 1980-1985 гг.

Климат резко континентальный, среднегодовая температура воздуха равна - 9,50С. Зима - суровая, продолжительная, лето - короткое, умеренно-теплое, иногда жаркое. Среднегодовое количество осадков за многолетний период составляет 470 мм. Район строительства входит в зону интенсивных сейсмических воздействий. Балльность 9 - 10 по шкале MSK – 64 для средних грунтовых условий [22].

В геологическом отношении район гидроузла относится к южной окраине Алданского кристаллического массива и находится в верховье р. Олонгоро. Коренные докембрийские кристаллические породы, представленные гранито-гнейсами, местами перекрываются юрскими песчаниками, алевролитами, аргиллитами с пластами каменных углей. Алевролиты с прослоями углей, граниты и гнейсы разрушены в щебень, дресву и сапролиты до глубины 25-30 м. Четвертичные отложения покрывают

водоразделы, склоны и днище долин слоем небольшой мощности и представлены песчано-гравийным и валунно-галечным аллювием; торфом и оторфованными супесями и суглинками, мощностью на пойме до 5 м, на склонах составляет от 0,1 до 1,2 м.

В гидрогеологическом отношении рассматриваемый район находится в пределах Чульманского артезианского бассейна. Подземные воды залегают в трещиноватых юрских и архейских породах. В районе выделяются два основных водоносных комплекса: подземные воды рыхлых четвертичных отложений и трещинные и трещинно-пластовые воды юрских и архейских пород. Воды верхнего водоносного горизонта (верховодка) создают трудности при строительстве – обводнение строительной площадки и развитие криогенных явлений. Мощность многолетнемерзлых пород на склонах колеблется от 3,0 до 30 м. Температура их на глубине 15 м изменяется от -0,1 (склон восточный) до -1,00С (склон западной экспозиции). Глубина сезонного протаивания в среднем изменяется от 1,0 до 2,5 м.

Главную роль в криогенном строении мерзлых пород играют текстурообразующие сегрегационные льды, представленные линзами, прослойками, прожилками, гнездами. Значительную льдистость имеют супесчаные делювиально-солифлюкционные отложения, у подножия склона северной экспозиции примерно 70% [5].

Состав гидроузла входят следующие гидротехнические сооружения: глухая каменно-земляная плотина; водосливная бетонная плотина; сифонный водосброс; водохранилище сезонного регулирования.

Каменно-земляная плотина, второго класса капитальности, талого типа–глухая с суглинистым экраном и цементационной завесой. Длина по гребню 1590 м, ширина–12,0м, максимальная высота в русле 27 м. Крепление откосов – каменная наброска. Максимальный напор 22м. Противофильтрационный экран сопрягается с основанием с помощью зуба глубиной 1,4 – 3,0м и шириной по низу 8,0–16,0 м. Грунты основания–песчаники мелко и средне зернистые и алевролиты крепкие, трещиноватые и сильнотрещиноватые. Цементационная завеса в основании трехрядная с расстоянием между рядами 1,6м осуществлена до глубины 10 м длиной по фронту 1600 м. В эксплуатации находится с 1983 г.

Водосливная бетонная плотина, двухпролетная возведена из монолитного бетона расположена на левом примыкании в створе глухой плотины. Имеет два водоприемных отверстия прямоугольной формы, пропускная способность которых при НПУ 797,0 м составляет 96м³/сек. Противофильтрационное устройство – монолитный железобетонный понур толщина 1м и длиной по фронту 22м. Отметка низа–793,3м. Максимальный напор на пороге водослива – 1,6м. На гребне плотины устроен автодорожный мост шириной 7 м.

Водоохранилище обеспечивает технической водой нужд ГРЭС, сброса и охлаждения воды после конденсаторов турбин. Объем водохранилища: полный – 43,9 млн.м³, площадь зеркала – 4,56 км², длина - 3,7км. Режим регулирования уровня воды осуществляется через водосливную плотину и сифонные водосбросы. Средняя глубина водохранилища при НПУ (отм. 797,0м) составляет 9,3м Наибольшая глубина в русле р.Олонгоро – 23м. Площадь мелководий с глубинами меньше 2м составляет 13% площади зеркала. Коэффициент использования водохранилища 0,81 [23].

В процессе эксплуатации, по крайней мере, было две аварии глухой части плотины – в 1983 и 1993 гг. Обе аварии произошли из-за потери сплошности противофильтрационного устройства – суглинистого экрана. В 1994г. при выполнении реконструкции, на ПК13+32 глухой каменно-земляной

плотины установлен, дополнительно к существующему, постоянный сифонный водосброс производительностью –24 м³/сек. Это позволяет, при необходимости, сбрасывать уровень воды в водохранилище до отметок ниже порога водосливной плотины. Таким образом, суммарная водопропускная способность водосбросов увеличилась до 120 м³/сек (96 м³/с -водосброс + 24 м³/с -сифон).

Опыт строительства и эксплуатации Нерюнгринского гидроузла свидетельствует о низкой изученности гидрологического режима р. Олонгоро, некачественном строительстве противофильтрационного экрана и негативном влиянии криогенных процессов, происходящих в теле плотины в период становления термо-напряженно-деформированного состояния.

Выводы о работе ГТС энергетического назначения

Опыт строительства и эксплуатации гидроузлов энергетического назначения показал, что в целом они выполняют свои функции - обеспечивают электроэнергией промышленные объекты и населенные пункты. Одновременно следует отметить, что проектирование, строительство и эксплуатация крупных гидроузлов в зоне сплошной криолитозоны по многим показателям являются пионерными. Так, гидроузел ВГЭС-1,2 явился первым, на котором в суровых природно-климатических был отработан способ круглогодичного возведения плотины. А створ гидроузла ВГЭС-3, явился самым сложным по инженерно-геокриологическим и гидрогеологическим условиям строительства. На этом объекте впервые была отработана методика способа строительства с оттайкой многолетнемерзлых пород основания после полного возведения грунтовой плотины. Кроме этого, водохранилище ВГЭС-1,2 явилось первой моделью искусственно созданного водоема таких огромных размеров в условиях криолитозоны, что позволило исследовать морфологию дна и берегов в процессе эксплуатации гидроузла.

Однако в настоящее время существуют проблемы устойчивости отдельных сооружений, входящих в состав гидроузлов, обусловленные изменениями инженерно-геокриологических условий среды, в которых они находятся. Рассматривая эти крупные гидротехнические узлы, как природно-технические системы, приходим к выводу о том, что процессы формирования температурно–криогенного режима носит перманентный характер и обуславливает их сложно-напряженное состояние. В процессе эксплуатации гидроузлов оказалось, что пред проектные инженерно-геокриологические изыскания не всегда проводятся в полной мере. Да и трудно было предположить, что процессы деградации многолетнемерзлых пород под воздействием водохранилищ будут происходить на таких обширных площадях и с такой большой скоростью. Следует отметить, что это происходит на фоне общего потепления климата на Земле. В сложившихся условиях возрастает роль мониторинга и, как показала практика, особенно эффективны измерительные комплексы, в состав которых входят геофизические исследования.

Гидротехнические сооружения промышленного и питьевого водоснабжения

Возрождение традиционного мясомолочного направления сельского хозяйства РС(Я), а также дальнейшее развитие горнодобывающей промышленности, объектов энергетики в значительной степени возможно только при надежной работе гидроузлов среднего и малого напоров, являющихся неотъемлемой частью водохозяйственного и мелиоративного строительства.

Анализ статистических данных отказов и аварий гидротехнических сооружений среднего и низкого напоров, построенных вне зоны вечной мерзлоты свидетельствует о том, что по сравнению с высоконапорными они наиболее подвержены деформациям. Причем резко этот процент увеличивается после 30 лет эксплуатации, связанный с

процессами старения материалов, из которых возведены сооружения. Такая же тенденция отмечена и на гидротехнических объектах в криолитозоне, в частности, на объектах АК «АЛРОСА» в Западной Якутии.

Опыт строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений промышленного и питьевого водоснабжения в основном базируется на опыте горнодобывающего освоения Западной Якутии. В этом районе построено более 15 плотин из местных материалов. Ниже приведено описание некоторых из них и отмечены основные проблемы строительства и эксплуатации.

Для понимания работы гидроузлов в Западной Якутии обратим внимание на тот факт, что в начале голоценового оптимума (примерно 10 - 5 тыс. лет назад), происходила деградация мерзлоты от дневной поверхности до 30-40 м [5]. После возвращения холодного климата началось быстрое промерзание пород. Скальные и полускальные отложения берегов речных долин, находившиеся в зоне аэрации, подверглись сильной деструкции. Результатом этого криогенного процесса явилась трещиноватость пород. К моменту строительства гидротехнических объектов трещины оказались либо полностью заполнены льдом, либо заполнены льдом частично и имели открытую трещиноватость, то есть промерзание пород происходило в условиях неполного их водонасыщения.

Анализ нештатных ситуаций на гидротехнических сооружениях Западной Якутии показывает, что в большинстве случаев при эксплуатации грунтовых плотин на участках примыкания к береговым массивам мерзлых скальных и полускальных трещиноватых пород имеет место развитие обходной фильтрации. Скорость продвижения талой зоны в береговых массивах вниз по долине в нижнембьефе достигает десятков, а в отдельных случаях и сотни метров в год. [24].

Гидроузел на р. Ирелях Мирнинского горно-обогатительного комбината Акционерной компании «АЛРОСА» является гидротехническим сооружением II класса, предназначенным для обеспечения хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения г. Мирный и фабрики №3. Расположен в 3 км к западу от г. Мирный и в 30,5 км от устья р. Ирелях. Географические координаты плотины гидроузла: 62°31' с. ш. и 113°53' в. д. Площадь землеотвода под ГТС гидроузла — 419 га. Из них 400 га занято под водохранилище. Гидроузел введен в эксплуатацию в 1964г.

Инженерно-геологические, геокриологические и гидрогеологические условия. Геокриологический разрез в створе плотины гидроузла характеризуется мощной толщей терригенно-карбонатных пород раннего палеозоя. До 40 м породы сильно выветрелые, трещиноватые, трещины заполнены прожилками льда, и при оттаивании сильноводопроницаемы, коэффициент фильтрации достигает 45 м/сутки. Площадка гидроузла расположена в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов мощностью 300 и более метров. Температура мёрзлых грунтов на глубине 15 м от -1,90С до -3,30 С. Глубина сезонного протаивания изменяется от 1,5 до 3,0 м.

В русловой части коренные породы прикрыты аллювиальными отложениями и представлены илами с галькой и гравием, иловатыми суглинками, гравийно-галечными разностями с песчаным заполнителем, находящимися в многолетнемерзлом состоянии с содержанием льда до 60%.

По трассе водосбросного канала, расположенного на левом берегу на второй надпойменной террасе, коренные породы сильно трещиноваты (до 15-20 мм).

Современные мерзлотно-гидрогеологические условия по створу плотины по данным изысканий осложнились интенсивным развитием талика в основании и береговых примыканиях по фронту и глубине. Этот талик образовался в процессе

эксплуатации плотины на глубину более 70 м, при отепляющем воздействии сбрасываемой воды. Подмерзлотные воды находятся на глубине 310-315 м, являются напорными (до 100 м), высокоминерализованными, с запахом сероводорода, и имеют отрицательную температуру[1].

В состав сооружений гидроузла входят: плотина, замораживающая система, водохранилище, береговой водосброс, плотина перехвата, дренажная насосная станция, водозаборный узел с насосной станцией.

Плотина земляная, насыпная, с мерзлым ядром, высотой 20,5 м, длиной по гребню — 320 м., шириной гребня 8.0 м. По классу капитальности плотина отнесена ко II классу, построена по 1 принципу строительства, с сохранением многолетнемерзлых грунтов основания в мерзлом состоянии..

Плотина на р. Ирелях является одной из первых инженерных сооружений в Западной Якутии. На гидроузле по сей день отрабатываются инженерные приёмы по обеспечению её статической и особенно противofильтрационной устойчивости. В разные периоды эксплуатации гидроузла на нем для замораживания тела и основания плотины были использованы воздушные, жидкостные, парожидкостные системы. А также для обеспечения фofильтрационной устойчивости испытывали криогели[25].

За 50-летний срок эксплуатации гидроузла определился ряд факторов, потенциально способных привести к развитию гидродинамической аварии. Основной из них является оттаивание грунтов до 70 м. в основании. Причина фofильтрации связана с большой трещиноватостью пород основания. При вытаивании льда образовались мощные фofильтрационные ходы. Принятые до настоящего времени меры по уменьшению фofильтрационных расходов не позволили в полной мере стабилизировать процессы растепления в основании плотины, но значительно снизили опасность потери водохранилищем своего функционального назначения - снабжения водой г. Мирного и фабрики №3. В настоящее время фofильтрация через сооружение стабилизировалась в пределах~ 1130 м3/ч и угрозы для безопасности ГТС и водоснабжения г.Мирный не создает[26].

Гидроузел оборудован контрольно-измерительной аппаратурой, которая позволяет отслеживать ситуацию на объекте и разрабатывать инженерные рекомендации по ликвидации возникающих не штатных ситуаций. В этой связи безусловно, на гидроузле необходимо продолжить работы по организации и проведению геокриологического мониторинга. Современные геофизические комплексы в сочетании с термометрией являются на сегодня наиболее информативным средством получения реальной картины состояния гидроузла в целом.

Гидроузел на р. Марха расположен на Северо-Западе Якутии и предназначен для обеспечения хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения промплекса на карьере «Юбилейный» Айхальского ГОКа. Координаты 65056/ с. ш., 111029/ в. д.

Инженерно-геологические, геокриологические и гидрогеологические условия. Основание плотины сложено туфами пермь-триасового и долеритами нижнетриасового возрастов. Туфы сильно выветрелые с поверхности на глубину до 6-10 м, до щебенистых и дресвяных грунтов с супесчаным и суглинистым заполнителем до 30-40%. Глубина залегания слабо выветрелых долеритов обычно колеблется в пределах 0,5-3,0 м. Район гидроузла приурочен к зоне распространения многолетнемерзлых пород, имеющих мощность до 500-600 м. Температура грунтов на глубине нулевых годовых амплитуд -6°С. В пределах поймы нормативная глубина сезонного оттаивания составляет 3,0-3,5 м, а в пределах русла 3,0-4,0 м. С поверхности все элювиальные грунты перекрыты элювиально-делювиальными отложениями

суглинисто-песчаных грунтов мощностью до 1,5-2,0 м, с льдистостью до 30%. Скальные грунты слабодистые - долериты практически не имеют видимых включений льда. Криогенная текстура туфов и туфоалевролитов преимущественно трещиноватая. Под многолетнемерзлой толщи залегают подмерзлотные, сильноминерализованные воды.

В состав гидроузла входят: глухая земляная плотина, водохранилище, водосбросной канал, насосная станция.

Плотина каменно-земляная, мёрзлого типа. В качестве противофильтрационного элемента имеет ядро, зуб и понур из суглинка, а также мерзлотную завесу в ядре и основании. Максимальная высота плотины – 18 м, ширина по гребню – 13 м, длина – 1004 м, заложение низового и верхового откосов 1:2. Максимальный напор на плотину – 17 м. Упорные призмы отсыпаны из вскрышных долеритовых пород карьера «Юбилейный». Отсыпка плотины велась с весны 1989 по осень 1991 года, причем укладка суглинка в противофильтрационные элементы производилась только в теплое время года.

Водонепроницаемость грунтов основания и тела плотины обеспечивалось за счет создания по напорному фронту плотины мерзлотной завесы с помощью жидкостных сезоннодействующих охлаждающих устройств-термосифонов с естественной конвекцией теплоносителя (керосина) и воздушной замораживающей системы.

В первый же год после отсыпки плотины, зимой 1991-92г. у подошвы низового откоса плотины, по руслу бывшего водосбросного канала был обнаружен локальный выход фильтрационных вод. Для ликвидации фильтрации, при работающей замораживающей системы, в декабре 1998 г была проведена отсыпка бермы мерзлым грунтом. Многолетнемерзлый грунт, с температурой около -5°C , доставлялся непосредственно из карьера «Юбилейный». Средняя температура воздуха в районе гидроузла в этот период составляла -40°C . Отсыпка велась одним слоем, достигавшим 11 метров в русловой части, при ширине около 50 метров. Сразу по окончании отсыпки и при дальнейших наблюдениях, выходов фильтрационного потока в нижнем бьефе плотины не отмечалось[27].

В результате работы воздушной и жидкостной замораживающих систем с вынужденной конвекцией теплоносителей в зимние периоды 1999-2001 гг. талик был проморожен, грунты мерзлотной завесы в течение летнего периода сохраняются в мерзлом состоянии.

При дальнейшей эксплуатации гидроузла для обеспечения надежной работы мерзлотной завесы достаточно будет использовать только одну замораживающую систему с естественной конвекцией теплоносителя[28].

Таким образом, специалистами АК «АЛРОСА» был разработан и внедрен метод «холодного штампа» для ликвидации фильтрующего талика плотины мерзлого типа в условиях Крайнего Севера.

Выводы о работе ГТС промышленного и питьевого назначения

Анализ состояния гидротехнических сооружений промышленного и питьевого назначения показал, что несмотря на аварийные ситуации, периодически возникающие на сооружениях, гидроузлы выполняют свое функциональное назначение вот уже на протяжении более 50 лет. Основной причиной аварийных и предаварийных ситуаций на гидроузлах являются изменения инженерно-геокриологических условий пород оснований и криогенного состояния сооружений в процессе формирования их сложного термо-напряженно- деформированного состояния. Не всегда были

адекватные и конструктивные решения сооружений. Важным оказалось знание генетического формирования криогенного состояния многолетнемерзлых пород.

Для обеспечения устойчивости гидроузлов используются различные инженерные приемы, позволяющие обеспечить выбранный способ строительства и эксплуатации сооружений. Так возникшую фильтрацию в скальных и полускальных породах в период эксплуатации сооружений, удалось предотвращать совместными методами, включающие в себя эксплуатацию замораживающих систем различных типов и способ «холодного штампа». Наиболее перспективный путь снижения аварийности заключается в своевременной (ранней) диагностике начала развития негативных процессов и подготовке грунтовых условий к развитию таких процессов и в принятии превентивных необходимых инженерных мер. То есть обязательная организация на каждом сооружении мониторинговой системы, которая включала бы в себя помимо стандартных видов натурных наблюдений, также современные измерительно-прогностические комплексы.

Поддержанию гидроузлов в рабочем состоянии способствуют вовремя составленные «Декларации безопасности», в которых расписана «дорожная карта» эксплуатации гидроузлов на текущий период. На выполнение рекомендаций по безаварийной работе гидроузлов хозяйствующими организациями ежегодно затрачиваются миллионы рублей.

Гидротехнические сооружения сельско-хозяйственного и мелиоративного назначения

В настоящее время количество гидроузлов этого класса насчитывает свыше 900. Как свидетельствует опыт эксплуатации все они в той или иной мере подвержены деформациям. Причины и виды деформаций гидротехнических сооружений этого класса в Якутии обобщены в работах [29], [9],[30], [31],[32]. Основной причиной деформаций является криогенные процессы и явления, протекающие в теле и основании сооружений в процессе формирования криогенно-температурного режима.

Характерной особенностью термо-криогенного состояния низконапорных грунтовых плотин в силу малых размеров в условиях Якутии является то, что в большинстве случаев они промерзают естественным путем.

Примером плотин, промерзших естественным путем в период эксплуатации и успешно проработавших определенный период, может служить ряд плотин водохозяйственного и мелиоративного назначения, построенных в различных улусах Якутии в 40-70-х годах XX века [32].

Однако в условиях потепления климата на Земле, начавшегося с середины прошлого столетия, гидротехнические сооружения в криолитозоне нередко переходят в талое состояние [33]. Низконапорные гидроузлы попали в зону интенсивных термодинамических процессов, происходящих в литосфере. Их температурно-криогенное состояние, являющееся основой устойчивости, испытывают тепловой прессинг, размеры которого необходимо знать. Таким образом, в настоящий период вновь становится актуальным исследование температурно-криогенного режима низконапорных гидроузлов на основе геокриологического мониторинга.

Выводы о работе ГТС сооружения сельско-хозяйственного и мелиоративного назначения

Гидротехнические сооружения сельско-хозяйственного и мелиоративного назначения в условиях криолитозоны Якутии имеют свою специфику, обусловленную сложными природно-климатическими и геокриологическими условиями, а также изменением климата на Земле. В силу низкого класса капитальности, требования к проектированию и эксплуатации несколько занижены. Что в корне не верно, так как в

общем объёме гидротехнических сооружений России они занимают существенный процент. А в условиях рискованного землепользования Якутии значение гидротехнического строительства этого назначения очень велико.

Анализ работы водопропусков свидетельствует о том, что наряду с проектно-технологическими, эксплуатационными условиями, большинство аварий происходит из-за недоучета при проектировании и эксплуатации процессов теплового и механического взаимодействия сооружений с окружающей средой. В большинстве случаев главной причиной разрушения гидроузлов является криогенный отказ. Безусловно, все сооружения должны иметь геокриологические мониторинговые системы [34].

Заключение

Краткий обзор состояния гидротехнического строительства в Якутии свидетельствует о том, что проблема устойчивости сооружений является актуальной и в настоящее время. Эта проблема приобретает новые грани в связи с глобальным изменением климата, которое происходит на Земле с середины прошлого столетия. Территория Якутии попала в зону интенсивных климатических изменений. Достаточно отметить, что среднегодовая температура воздуха в ряде районов повысилась на два с лишним градуса по Цельсию. Реакция многолетнемерзлых пород на эти климатические изменения в разных регионах разная. В этой связи следует отметить, что гидроузлы перешли в разряд, так называемых природно-технических систем и представляют сложные комплексы, в которых происходят не менее сложные криогенные процессы. Все это ставит перед инженерами и учеными новые задачи и проблемы, решение которых необходимо для успешного природопользования.

На повестке дня вновь стоит вопрос повышения качества изысканий при обосновании проектных решений гидроузлов. Об этом красноречиво говорит проблема реконструкций сооружений, которые необходимо провести на ряде гидроузлов.

Остро стоит вопрос также с экологией экосистем криолитозоны, отличительными особенностями которых являются их высокая степень уязвимости, чрезвычайная чувствительность к любым природным и техногенным изменениям, а также низкий потенциал самовосстановления.

Низконапорные гидроузлы ирригационного и сельскохозяйственного назначения продолжает оставаться проблемным звеном гидротехнического строительства в условиях криолитозоны. Анализ работы свидетельствует о том, что по-прежнему имеет место безграмотное их проектирование, строительство и эксплуатация. В силу низкого класса капитальности, требования к проектированию и эксплуатации несколько занижены. Что в корне не верно, так как в общем объёме гидротехнических сооружений России они занимают существенный процент.

Рассматривая проблему гидротехнического строительства в целом по России следует отметить, что продолжается работа по совершенствованию нормативных актов. Так, Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений» [35], «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [36] и другие нормативные документы уточнили понятие «авария сооружения», а также ввели новое понятие – «механическая безопасность». Делается попытка увязать наши нормативные акты в этой области с зарубежными «Еврокодами» [37]. Однако следует отметить тот факт, что обновление нормативных документов по линии актуализации существующих СНиПов и написание Сводов Правил (СП), происходит на низком научном уровне. Так, актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84*[38] СП 39.13330.2012[39], искажила принципы работы гидротехнических сооружений в криолитозоне. В своё время Инструкция по проектированию гидротехнических сооружений в районах

распространения вечномёрзлых грунтов [40] и СНиП 2.06.05-84* [38] узаконили два принципа строительства гидротехнических сооружений в криолитозоне: первый принцип предполагает, что фильтрационная и статическая устойчивость плотины и ее основания обеспечивается мерзлыми грунтами, второй принцип – талыми. Однако СП 39.13330.2012 по не понятным причинам исключил типизацию плотин по температурно-криогенному признаку. Это совершенно не допустимо, так как противоречит накопленному научно-практическому опыту, и является шагом назад в развитии гидротехнического строительства в районах криолитозоны. Ведущие гидротехники России считают, что «...Такой подход не просто является грубой ошибкой, а серьезным преступлением, обуславливающим повышение аварийности и не отвечающим требованиям всех федеральных законов о безопасности гидротехнических сооружений и Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» [31]. Этот тезис с новой силой прозвучал в Решении XI Международного симпозиума по проблемам инженерного мерзлотоведения, прошедшего 5-8 сентября 2017 года в г. Магадане [41].

1. Гидрогеология СССР. Якутская АССР. М.: Недра, 1970, 383 с.
2. Кондратьева К.А., Марахтанов В.П., Нистратова Т.А. Геокриологические условия Лено-Вилуйского региона. Условия формирования сезонно-и многолетнемерзлых пород. Геокриология СССР. Средняя Сибирь. Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во «Недра», 1989, с. 227-249.
3. Климовский И.В., Готовцев С.П. Криолитозона Якутской алмазоносной провинции. Новосибирск: ВО «Наука», 1994, 167 с.
4. Гаврилова М.К. Климат Центральной Якутии. Якутское книжное издательство. Якутск: 1973. – 120 с.
5. Геокриология СССР. Средняя Сибирь /под ред. Э.Д.Ершова. – М.: Недра, 1989, с.94–195.
6. Алексеев С.В., Вахрамеев А.Г., Коцупало Н.П., Рябцев А.Д. Промышленные рассолы Сибирской платформы: гидрогеология, бурение и добыча, переработка, утилизация / Алексеев С.В., Вахрамеев А.Г., Коцупало Н.П., Рябцев А.Д. – Иркутск: Изд-во «Географ», 2014. – 162 с.
7. Ефимов А.И. Гидрогеологические особенности района месторождения алмазов трубки «Мир» в Западной Якутии. – Тр. II совещания по подземным водам и инженерной геологии Восточной Сибири. Вып. II, Иркутск, 1959, с. 79-87.
8. Батенчук Е.Н., Биянов Г.Ф., Торопов Л.Н., Мызников Ю.Н. Зимняя укладка связных грунтов на Крайнем Севере. М.: Изд. «Энергия», 1968, с.8-13.
9. Биянов Г.Ф. Плотины на вечной мерзлоте. М.: Энергоатомиздат, 1983, 176 с.
10. Демидов А.И., Смирнов Е.А. Температурный режим Вилуйской плотины в первые годы эксплуатации. Тр. координац. совещаний по гидротехнике. Вып. 72. Л.: 1972, с. 52-57.
11. Каменский Р.М. Термический режим плотины и водохранилища Вилуйской ГЭС. Якутск: Изд. ИМЗ СО АН СССР, 1977, 100 с.
12. Оловин Б.А., Медведев Б.А. Динамика температурного поля плотины Вилуйской ГЭС. Новосибирск: Изд-во «Наука» СО, 1980, 48 с.
13. Мухетдинов Н.А. Основные факторы, определяющие тепловлажностный режим низовой призмы каменного набросной плотины. Опыт проектирования и строительства плотин из местных материалов на Крайнем Севере. Тр. Координационных совещаний по гидротехнике. Выпуск 89. Л.: 1974, с. 11- 15.
14. Кроник Я.А., Гаврилов А.Н., Мнушкин М.Г., Абрамов Б.И. Натурные наблюдения за деформациями и криогенными процессами в теле плотины Вилуйской ГЭС при её эксплуатации. Инженерное мерзлотоведение в гидротехническом строительстве. Тр. конференций и совещаний по гидротехнике. Л.: Энергоатомиздат ЛО, 1984, с. 198 – 202.
15. Чжан Р.В., Великин С.А., Шестернев Д.М. Температурно-криогенный режим гидроузла Вилуйской ГЭС-1,2: геокриологический мониторинг // Гидротехническое строительство, 2017, № 6, с.10-23.
16. Ермолаева И.К. Классификация термоабразионных берегов водохранилищ и прогнозирование их переработки // Береговые процессы в криолитозоне. Новосибирск, 1984, с. 85-92.
17. Константинов И.П. Динамика берегов водохранилища Вилуйской ГЭС в период наполнения и начальной эксплуатации // Береговые процессы в криолитозоне. Новосибирск, Наука, 1984, с. 38-50.
18. Бурлаков В.М. Районирование Вилуйского водохранилища. Типизация классификация его берегов // В.М. Бурлаков // Влияние ГЭС на окружающую среду: сб. науч. тр. / Акад. наук СССР, Сиб. Отд-ние, Якут. Филиал, Якутск, 1987, с. 34-42.

19. Кудояров Л.И. Влияние изменений мерзлотных условий в чаше водохранилища на функционирование северных ГЭС // Л.И. Кудояров, Т.С. Оникиенко // Гидротехническое строительство. 1990, №2, с. 8-11.
20. Великин С.А., Соболев И.С., Соболев С.В., Хохлов Д.Н. Результаты инструментальных наблюдений и адаптивного прогноза термоабразии берегов Вилуйского водохранилища. Гидротехническое строительство, № 6, 2013, с. 2-8.
21. Фрумкин В.Н., Шерман М.М. О строительстве Вилуйской ГЭС – III на многолетнемёрзлом полускальном основании. – Гидротехническое строительство. 2003 - № 12. - С. 18-20.
22. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. М.: 2014, с.
23. Разработка проекта правил использования Нерюнгринского водохранилища. Кн. 2. «Правила технической эксплуатации и благоустройства Нерюнгринского водохранилища». Экологическая и водохозяйственная фирма ООО «ВЕД». М.: 2013, 39 с.
24. Шестернёв Д.М., Великин С.А., Радостева А.В. Проблемы безопасной эксплуатации гидротехнических систем Западной Якутии на примере Сытыканского гидроузла. // Подземная гидросфера./Материалы XXVсероссийского совещания по подземным водам Востока России. Иркутск, 2012, с. 413-418.
25. Алтунина Л.К., Кувшинов В.А., Долгих С.Н. Криогели для тампонажных работ в районах распространения многолетнемёрзлых пород // Гидротехника, 2010. №3. – с. 52-57.
26. Разработка проекта правил использования водных ресурсов Иреляхского водохранилища. ООО «ВЕД», М., 2013, 138 с.
27. Дюкарев В.П., Сергиевский В.В., Сухно А.М. Опыт ликвидации фильтрующего талика плотины в условиях Крайнего Севера. Гидротехническое строительство, 2001, № 12, с. 14 – 16.
28. Критерии безопасности ГТС гидроузла на р. Марха Айхальского ГОКа АК «АЛРОСА». Пос. Айхал, 2003 г. 47 с.
29. Слоев Л.Н. Гидротехнические сооружения для сельского хозяйства Центральной Якутии. Якутск: Якутское кн. изд-во, 1963, 54 с.
30. Селеверстов А.П. Гидросооружения мелиоративного назначения на вечномерзлых грунтах. – М., 1979. – 66 с.
31. Кроник Я.А. Анализ аварийности и безопасности геотехнических систем в криолитозоне // Материалы пятой конференции геокриологов России МГУ имени М.В. Ломоносова 14-17 июня 2016 г. Том 1. М.: «Университетская книга», 2016, с. 104-113.
32. Чжан, Р. В. Температурный режим и устойчивость низконапорных гидроузлов и грунтовых каналов в криолитозоне / Р. В. Чжан. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2002, 208 с.
33. Чжан Р.В. Геокриологические принципы работы грунтовых плотин в криолитозоне в условиях меняющегося климата // "Фундаментальные исследования" № 9 (часть 2), 2014, с. 288-296.
34. Чжан Р.В. Геокриологический мониторинг низко и средненапорных грунтовых плотин в криолитозоне в связи с изменением климата // Современные проблемы науки и образования, 2013. №6; URL: www.science-education.ru/113-11144.
35. Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений» от 21.07.1997 г № 117-ФЗ (ред. от 03.07.2016 г, с изм. и доп. вступил в силу 01.01.2017 г).
36. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. Федеральный закон №384-ФЗ от 30.12.2009.
37. Руководство для проектирования к Еврокоду: Геотехническое проектирование EN-1997-1. Пер. с английского. Минобрнауки РФ. НИУ МГСУ. М. 2013, 360с.
38. СНиП 2.06.05-84*. Плотины из грунтовых материалов. М., 1991, 49 с.
39. СП 39.13330.2012 Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84*. М.: 2013, с.
40. Инструкция по проектированию гидротехнических сооружений в районах распространения вечномерзлых грунтов. ВСН 30 – 83. Л., Минэнерго СССР, 1983, 100 с.
41. Материалы XI Международного симпозиума по проблемам инженерного мерзлотоведения, г. Магадан (Россия), 5-8 сентября 2017 г.: тезисы докладов / отв. ред. Р.В. Чжан; Сибирское отд. РАН, ФБУН Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. Якутск: Издательство ФБУН Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2017, 380 с.

Научное издание

**Научный диалог:
Вопросы точных и технических наук**

Сборник научных трудов, по материалам
XV международной научно-практической конференции
12 марта 2018 г.

SPLN 001-000001-0262-TT

Подписано в печать 19.03.2018. Тираж 400 экз.
Формат 60х84 1/16. Объем уч.-изд. л.2.3
Бумага офсетная. Печать оперативная.
Отпечатано в типографии НИЦ «Л-Журнал»
Главный редактор: Иванов Владислав Вячеславович