



# **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ**

*Сборник статей по материалам  
I международной научно-практической конференции*

№ 9 (45)  
Сентябрь 2015 г.

Издается с октября 2011 года

Новосибирск  
2015

УДК 62  
ББК 30  
Т 38

Ответственный редактор: Васинович М.А.

Председатель редакционной коллегии:

**Ахметов Сайранбек Махсатович** — д-р техн. наук, проф., ректор Казахстанского университета инновационных и телекоммуникационных систем (КазУИТС), академик РАЕН, действительный член (академик) Национальной инженерной академии Республики Казахстан, заместитель председателя Западно-Казахстанского филиала НИА РК, директор Представительства Казахской академии экологии и безопасности жизнедеятельности» в г. Уральск.

Редакционная коллегия:

**Ахмеднабиев Расул Магомедович** — канд. техн. наук, доц. Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка;

**Барштейн Виктор Юрьевич** — канд. тех. наук, ст. науч. сотр., заведующий лабораторией Государственного учреждения «Институт пищевой биотехнологии и геномики Национальной академии наук Украины» (ИПБГ НАН Украины).

**Елисеев Дмитрий Викторович** — канд. техн. наук, доцент, бизнес-консультант Академии менеджмента и рынка, ведущий консультант по стратегии и бизнес-процессам, «Консалтинговая фирма «Партнеры и Боровков»;

**Копылов Алексей Филиппович** — канд. техн. наук, доц. кафедры Радиотехники Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета;

.

**Т 38 Технические науки — от теории к практике /** Сб. ст. по материалам Л междунар. науч.-практ. конф. № 9 (45). Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2015. 148 с.

Учредитель: АНС «СибАК»

Сборник статей «Технические науки — от теории к практике» включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

## **Оглавление**

### **Секция 1. Информатика, вычислительная техника и управление 7**

ФИНИТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЕРВОПРИВОДОМ  
ПОСТОЯННОГО ТОКА С МИНИМАЛЬНЫМ РАСХОДОМ  
ЭНЕРГИИ 7

Капля Егор Викторович

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАЦИОННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ В ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСАХ 13

Курчатов Михаил Юрьевич

Нурматова Елена Вячеславовна

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ  
РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ПОДБОРА ПЕРСОНАЛА  
НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПРАВИЛ  
НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ 19

Тагиров Владислав Камильевич

Тагирова Лилия Фаритовна

### **Секция 2. Машиностроение и машиноведение 30**

ДЕГАЗАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА БАКОВ  
ОТКРЫТОГО ТИПА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ  
ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ 30

Павлович Игорь Львович

ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
ПРИ ДЕЙСТВИИ СТУПЕНЧАТОГО НАГРУЖЕНИЯ 34

Прис Наталья Михайловна

Безменова Анастасия Владимировна

### **Секция 3. Материаловедение и металлургическое оборудование и технологии 41**

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ  
В НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЯХ 41

Бурлакова Марина Олеговна

Гевлич Сергей Олегович

ФОСФАТЫ СЕМЕЙСТВА ЛАНГБЕЙНИТА,  
СОДЕРЖАЩИЕ ИМИТАТОРЫ РАДИОАКТИВНЫХ  
ОТХОДОВ (SR, SM). СИНТЕЗ, ИЗОМОРФИЗМ,  
ПОВЕДЕНИЕ ПРИ НАГРЕВАНИИ 45

Канунов Антон Евгеньевич

<b>Секция 4. Химическая техника и технология</b>	<b>52</b>
ИЗУЧЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ РАСТВОРОВ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩИХ ПОЛИМЕРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМ ВЕЩЕСТВОМ	52
Куринова Мария Алексеевна Гальбрайх Леонид Семенович Скибина Дарья Эдуардовна	
<b>Секция 5. Технология продовольственных продуктов</b>	<b>60</b>
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ МУКИ ДЛЯ ПИТАНИЯ ЛЮДЕЙ БОЛЬНЫХ ЦЕЛИАКИЕЙ	60
Крюкова Екатерина Владимировна Чугунова Ольга Викторовна Мысаков Денис Сергеевич	
МЯСО ИНДЕЙКИ В ТЕХНОЛОГИЯХ МЯСОПЕРЕРАБОТКИ	67
Самченко Ольга Николаевна	
<b>Секция 6. Электротехника</b>	<b>72</b>
РАСЧЕТ ИНДУКТОРА ДЛЯ СКВОЗНОГО НАГРЕВА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК	72
Калимуллин Алик Талгатович Темников Евгений Александрович Лесков Иван Алексеевич Троценко Владислав Михайлович Агафонов Никита Константинович	
<b>Секция 7. Безопасность жизнедеятельности человека, промышленная безопасность, охрана труда и экология</b>	<b>82</b>
ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СТАЛЬНЫХ ТРУБ	82
Гевлич Сергей Олегович Бабяк Татьяна Геннадьевна Васильев Константин Александрович Макарова Надежда Васильевна Мирзонов Максим Владимирович	

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ	86
Гевлич Сергей Олегович	
Гевлич Дмитрий Сергеевич	
Бабяк Татьяна Геннадьевна	
Васильев Константин Александрович	
Коновалов Сергей Сергеевич	
Макарова Надежда Васильевна	
Мирзонов Максим Владимирович	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ	95
Гевлич Сергей Олегович	
Гевлич Дмитрий Сергеевич	
Болотин Анатолий Вадимович	
Васильев Константин Александрович	
Коновалов Сергей Сергеевич	
Макарова Надежда Васильевна	
Мирзонов Максим Владимирович	
ДЕГРАДАЦИЯ ТРУБ ПРИ ТЕПЛОМ ВОЗДЕЙСТВИИ	107
Гевлич Сергей Олегович	
Гевлич Дмитрий Сергеевич	
Бабяк Татьяна Геннадьевна	
Васильев Константин Александрович	
Макарова Надежда Васильевна	
Мирзонов Максим Владимирович	
ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ И ГОРОДСКИХ ВОДОПРОВОДОВ	114
Гевлич Сергей Олегович	
Гевлич Дмитрий Сергеевич	
Васильев Константин Александрович	
Макарова Надежда Васильевна	
Мирзонов Максим Владимирович	
ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА НА ПРИМЕРЕ ХРАНИЛИЩА ЕДКОГО НАТРИЯ	124
Нестратов Михаил Юрьевич	
Ребров Вячеслав Валерьевич	
Смирнов Юрий Юрьевич	
Тян Андрей Александрович	
Попов Дмитрий Валентинович	

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙНОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ ДЛЯ СТАЦИОНАРНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЯ НА ХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	133
Нестратов Михаил Юрьевич Ребров Вячеслав Валерьевич Смирнов Юрий Юрьевич Тян Андрей Александрович Попов Дмитрий Валентинович	
ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ СТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ	139
Сапронов Олег Алексеевич Токарев Дмитрий Александрович Белышев Владимир Николаевич Кравченко Татьяна Ивановна Ярыгин Владимир Степанович	

**СЕКЦИЯ 1.**  
**ИНФОРМАТИКА,**  
**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

**ФИНИТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
СЕРВОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА  
С МИНИМАЛЬНЫМ РАСХОДОМ ЭНЕРГИИ**

**Капля Егор Викторович**

*канд. физ.-мат. наук, доцент, ведущий научный сотрудник  
филиала Московского энергетического института в г. Волжском,  
РФ, г. Волжский  
E-mail: [ev-kaple@yandex.ru](mailto:ev-kaple@yandex.ru)*

**FINITE CONTROL OF THE DC SERVO  
WITH A MINIMUM CONSUMPTION OF ENERGY**

**Egor Kaplya**

*candidate of physics and mathematics, associate professor, leading  
researcher branch of Moscow power engineering Institute in Volzhsky,  
Russia, Volzhsky*

**АННОТАЦИЯ**

Исследована зависимость расхода энергии от длины отрезка терминального управления. Получена формула, позволяющая оценить минимальный расход энергии при терминальном управлении серводвигателем постоянного тока.

**ABSTRACT**

The dependence of power consumption on the length of the segment terminal control. The formula is derived that allows to estimate the minimum energy consumption when the terminal control servo motor DC.

**Ключевые слова:** финитное управление; сервопривод; потребляемая энергия.

**Keywords:** finite control; fixed-time control; servo-driver; servo motor; expenditure energy.

Финитное управление заключается в переводе объекта управления из заданного начального состояния в заданное конечное состояние за ограниченное время [1, с. 54]. Задача поиска оптимальной продолжительности финитного управления (терминального времени) сервоприводом имеет важное практическое приложение в системах управления различными объектами энергетики и, в частности, сервоприводами лопастей ветроэнергетических установок и приводами систем ориентации солнечных батарей. В качестве объекта управления рассмотрим двигатель постоянного тока (ДПТ) с редуктором и механической нагрузкой.

Цель исследования: определение оптимального по минимуму расхода энергии терминального времени управления сервоприводом с ДПТ.

В основе известной [2, с. 148] математической модели сервопривода постоянного тока — система дифференциальных уравнений:

$$J \cdot \frac{d^2 \alpha(t)}{dt^2} = k_m \cdot i(t) - M_c(t), \quad (1)$$

$$L \cdot \frac{di(t)}{dt} + R \cdot i(t) = u(t) - k_\omega \cdot \frac{d\alpha(t)}{dt}, \quad (2)$$

где:  $J$  — суммарный момент инерции якоря ДПТ и механизма;

$\alpha(t)$  — угол поворота якоря ДПТ;

$i(t)$  — ток в цепи якоря;

$k_m$  — коэффициент пропорциональности, связывающий ток в цепи якоря и развиваемый двигателем вращающий момент  $M_{вр}(t) = k_m \cdot i(t)$ ;

$n$  — передаточное число редуктора сервопривода;

$u(t)$  — управляющее напряжение;

$L$  — индуктивность цепи якоря;

$R$  — активное сопротивление цепи якоря;

$\omega(t) = \frac{d\alpha(t)}{dt}$  — угловая скорость вала двигателя;



$k_{\omega}$  — коэффициент противоЭДС, связывающий противоЭДС  $E(t)$  с угловой скоростью;  $E(t) = k_{\omega} \cdot \omega(t)$ ;

$M_{вр}(t) = k_m \cdot i(t)$  — вращающий момент, создаваемый ДПТ;

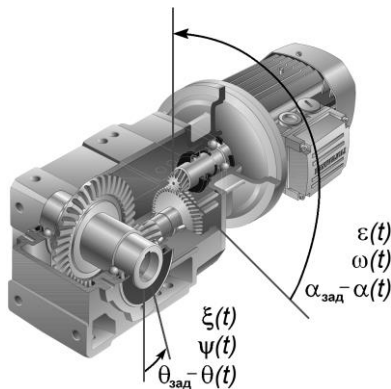
$M_c(t)$  — момент сопротивления нагрузки, приведенный к валу двигателя. Момент сил сопротивления будем считать линейно зависящим от угловой скорости вращения ротора ДПТ:

$$M_c(t) = \begin{cases} \chi_1 \cdot \omega(t) + \chi_0, & \text{если } \omega(t) > 0; \\ \chi_1 \cdot \omega(t) - \chi_0, & \text{если } \omega(t) < 0; \\ M_{вр}(t), & \text{если } \omega(t) = 0 \wedge |M_{вр}(t)| \leq \chi_0; \\ \chi_0, & \text{если } \omega(t) = 0 \wedge M_{вр}(t) > \chi_0; \\ -\chi_0, & \text{если } \omega(t) = 0 \wedge M_{вр}(t) < -\chi_0, \end{cases}$$

где:  $\chi_0$  — момент трогания ротора двигателя и механической нагрузки сервопривода, приведенный к валу двигателя;

$\chi_1$  — коэффициент сопротивления движению.

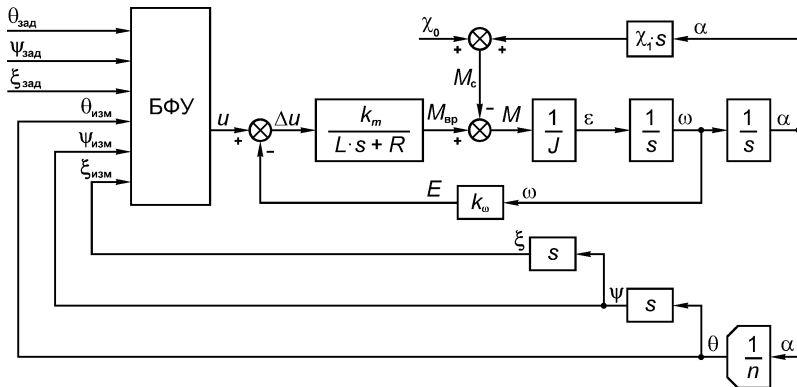
При жесткой механической связи вала двигателя и ведомого вала нагрузки посредством зубчатых колес редуктора можно принять:  $\theta(t) = \alpha(t)/n$ ;  $\psi(t) = \omega(t)/n$ ;  $\xi(t) = \varepsilon(t)/n$ , где  $\theta(t)$ ,  $\psi(t)$ ,  $\xi(t)$  — угол поворота, угловая скорость, угловое ускорение вала нагрузки, соответственно;  $\varepsilon(t)$  — угловое ускорение якоря ДПТ (рис. 1).



**Рисунок 1. Электродвигатель с редуктором**

Структурная схема автоматизированной системы управления сервоприводом с блоком финитного управления (БФУ) представлена на рис. 2. На вход БФУ подаются заданные конечные значения фазовых координат вала нагрузки:  $\theta_{\text{зад}}(T_0 + T) = \hat{\theta}$ ,  $\psi_{\text{зад}}(T_0 + T) = \hat{\psi}$ ,  $\xi_{\text{зад}}(T_0 + T) = \hat{\xi}$ .

Схема, показанная на рис. 2, предполагает использование датчика углового положения (энкодера). Угловая скорость и угловое ускорение вычисляются путём дифференцирования углового перемещения механической нагрузки. Текущие значения фазовых координат сравниваются с заданными. БФУ вычисляет и формирует управляющий сигнал  $u(t, T)$  на основе выбранного закона терминального управления.



**Рисунок 2. Структурная схема САУ сервоприводом с БФУ**

Известный [1, с. 69] закон финитного управления применительно к сервоприводу на основе ДПТ представим в следующем виде:

$$u(t, T) = \begin{cases} k_u \cdot n \cdot \left( \frac{12 \cdot (\hat{\theta} - \theta(t))}{(\hat{T} - t)^2} - \frac{6 \cdot (\hat{\psi} + \psi(t))}{\hat{T} - t} + \hat{\xi} \right) & \text{при } t \in [T_0; T_0 + T], \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases}$$

(3)

где:  $k_u$  — коэффициент пропорциональности между напряжением на обмотке ДПТ и угловым ускорением ротора;  $k_u = J \cdot R / k_m$ ;

$\widehat{T} = T_0 + T + \Delta T$  — момент времени окончания переходного процесса;

$T_0$  — момент времени начала процесса управления;

$T$  — терминальное время;

$\Delta T$  — жёсткость управления.

Рассмотрим модель процесса управления сервоприводом, обладающим следующими характеристиками:  $L = 0,01 \text{ Гн}$ ;  $R = 2 \text{ Ом}$ ;  $k_m = 0,08 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{А}$ ;  $k_\omega = 0,2 \text{ В} \cdot \text{с} / \text{рад}$ ;  $J = 1,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $n = 10$ ;  $\chi_1 = 0,1 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с} / \text{рад}$ ;  $\chi_0 = 0,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$  при следующих начальных и конечных условиях:  $\psi(T_0) = 0$ ;  $\theta(T_0) = 1^\circ$ ;  $\widehat{\theta} = 4^\circ$ ;  $\widehat{\psi} = 0$ ;  $\widehat{\xi} = 0$ .  
Примем:  $t_0 = 0$ ;  $T_0 = 1 \text{ с}$ ;  $\Delta T = 0,01 \text{ с}$ ;  $\Delta t = 10^{-3} \text{ с}$ .

Энергия, потребляемая якорем ДПТ от источника электрической энергии в процессе финитного управления сервоприводом, выражается интегралом:

$$Q(T) = \int_{T_0}^{T_0+T} u(t, T) \cdot i(t, T) dt. \quad (4)$$

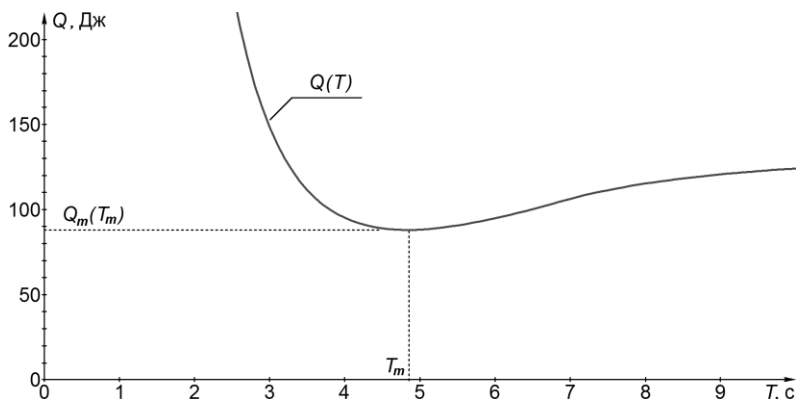
Ток в цепи якоря ДПТ представим решением уравнения (2) относительно  $i(t, T)$ :

$$i(t, T) = \exp\left(-\frac{R}{L} \cdot (t - T_0)\right) \times \left[ \frac{1}{L} \cdot \int_{T_0}^t \exp\left(\frac{R}{L} \cdot (t' - T_0)\right) \cdot \left[ u(t', T) - k_\omega \cdot \frac{d\alpha(t', T)}{dt'} \right] dt' + i(T_0, T) \right],$$

где  $i(T_0, T)$  — ток в цепи якоря в момент времени  $T_0$ . При пуске двигателя можно принять  $i(T_0, T) = 0$ , т. к. ток через индуктивный элемент не может измениться мгновенно.

Оптимальное терминальное время  $T_m$  соответствует минимуму функции  $Q(T)$ . Зависимость  $Q(T)$  при заданных начальных

и конечных условиях и заданных характеристиках сервопривода имеет единственный минимум (рис. 3).



**Рисунок 3. График зависимости  $Q(T)$**

В результате минимизации функции (4) при использовании сигнала (3) получена [3, с. 30] новая формула:

$$T_m = \sqrt{6 \cdot \frac{J \cdot n}{\chi_0} \cdot |\hat{\theta} - \theta(T_0)|} - \Delta T = \sqrt{6 \cdot \frac{k_u \cdot n}{U_p} \cdot |\hat{\theta} - \theta(T_0)|} - \Delta T. \quad (5)$$

Формула (5) позволяет оценить оптимальное терминальное время при повороте механической нагрузки из одного неподвижного состояния в другое.

### Список литературы:

1. Батенко А.П. Управление конечным состоянием движущихся объектов. — М.: Советское радио, 1977. — 256 с.
2. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Теория электропривода. — Мн.: ЗАО “Техноперспектива”, 2004. — 527 с.
3. Капля Е.В. Энергоэффективное терминальное управление серводвигателем постоянного тока. // Автоматизация процессов управления. — 2015. — № 1. — С. 27—33.

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСАХ

**Курчатов Михаил Юрьевич**

*студент 4 курса, Московский государственный университет  
информационных технологий, радиотехники и электроники,  
РФ, г. Серпухов  
E-mail: [kaaelss@gmail.com](mailto:kaaelss@gmail.com)*

**Нурматова Елена Вячеславовна**

*канд. техн. наук, зав. кафедрой «Приборы и информационные  
технологии», доцент, Филиал МИПЭА в г. Серпухове,  
РФ, г. Серпухов  
E-mail: [ev8@mail.ru](mailto:ev8@mail.ru)*

## METHODS AND RESOURCES OF INFORMATION SECURITY IN CLOUD SERVICES

**Michael Kurchatov**

*student 4 course, Moscow State University of Information Technologies,  
Radio Engineering and Electronics, Serpukhov,  
Russia, Serpukhov*

**Elena Nurmatova**

*Moscow State University of Information Technologies,  
Radio Engineering and Electronics, Candidate of Science,  
head of the department "Devices and Information Technologies",  
Russia, Serpukhov*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье вы можете узнать о методах и средствах защиты информации в облачных сервисах, а так же кратко о достоинствах и недостатках самих облачных сервисов.

### ABSTRACT

In this article you can learn about the resources and the methods of Cloud services' data protection, also you can learn about the pros and the cons of cloud services.

**Ключевые слова:** информационная безопасность; облачные сервисы.

**Keywords:** information security; cloud services.

В современном бизнесе основным лозунгом является максимальное использование имеющихся ресурсов, при этом стараясь найти наиболее выгодный вариант решения проблемы. Хранение информации не является исключением. В погоне за выгодой предприниматели решились пойти на серьёзный шаг — использование облачных сервисов в качестве основных для хранения информации. Облачные сервисы представляют собой набор распределённых виртуальных серверов, находящихся на одном физическом сервере, который предоставляется дата-центром. Ключевой особенностью облачных сервисов является распределение информации разных клиентов на разных виртуальных серверах, что позволяет исключить возможность форс-мажорных обстоятельств, например в связи с выходом из строя сервера по вине одного клиента (все остальные клиенты так же не могут получить доступ к своей информации). Помимо того, что уменьшается риск форс-мажорных обстоятельств в связи с выходом из строя сервиса, так же уменьшается и цена за использование сервиса по очень простой причине — поставщик услуг имеет только один физический сервер и использует его с максимальной эффективностью, распределяя ресурсы между виртуальными серверами. Все в плюсе. Однако есть и негативные стороны... Удалённый доступ к информации является одним из недостатков, поскольку нет возможности нажать на кнопку «Аварийного останова», нужно связаться с оператором, объяснить проблему и подождать пока техник выключит виртуальный сервер... Потеряны драгоценные секунды, что может быть серьёзной проблемой в зависимости от ситуации. Следующим недостатком является возможность соседства рядом с виртуальными серверами потенциальных конкурентов, что повышает риск утечки информации в случае взлома со стороны конкурирующих компаний. Подведём итог:

Достоинства:

1. Цена
2. Снижение риска выхода из строя

Недостатки:

1. Отсутствие возможности оперативного останова сервера
2. Риск взлома со стороны соседствующих конкурентов

Теперь о методах и средствах защиты информации в облачных сервисах.

Первым в списке будет самый необходимый метод защиты информации — Система ролей. Данный метод заключается в том, что создаются группы пользователей с определёнными правами на чтение\добавления или редактирования информации. Например, сотрудники отдела монтажа не будут иметь доступ к информации из бухгалтерии, но могут свободно добавлять\читать информацию о монтажных работах. Объясняется необходимость данного метода просто — представьте себе ситуацию, когда некий недобросовестный и неквалифицированный работник низшего звена имеет доступ к чтению\добавлению и редактированию критически важной информации, само собой такие проблемы никому не нужны и поэтому существует система ролей.

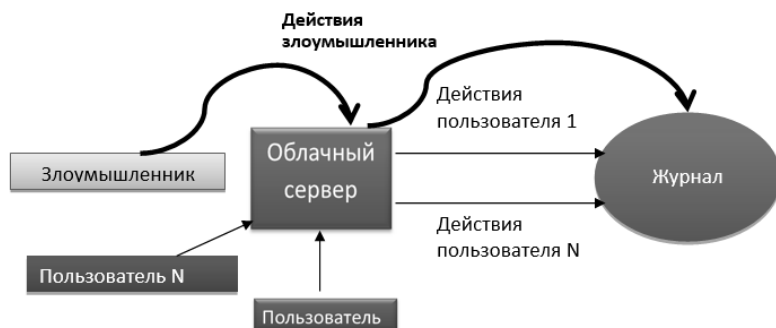


**Рисунок 1. Схема работы ролей**

Данный метод может осуществляться либо с помощью поставщика (внешние сервера аутентификации) или с помощью самого клиента (внутренние), а также с помощью таких технологий как RDP Proxu \ SSH. Особой разницы между этими вариантами нет, однако услуги поставщика уже созданы в виде БД и требуют минимального участия со стороны клиента для их установки.

Одним из наиболее известных способов защиты информации и отслеживания нарушителей \ недобросовестных пользователей являются журнальные записи. Смысл данного метода заключается в том, что существует специальная таблица данных (либо лог-файл), которая хранит в себе перечень действий пользователей совершенных в определённый момент времени, направленных на изменение\создание или удаление существующих данных облачного сервера.

Анализом журналов занимается специальный работник (например — системный администратор).



*Рисунок 2. Схема работы журнала*

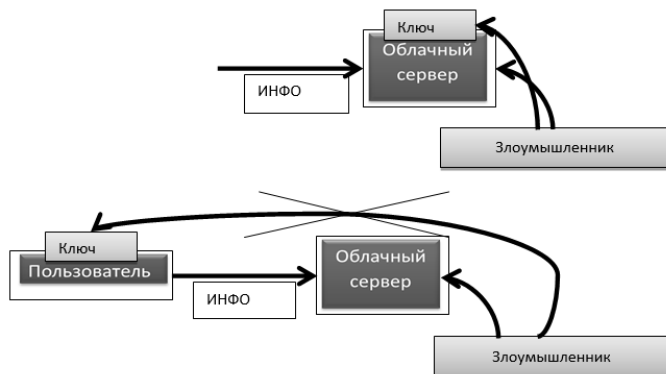
Наиболее эффективным для выявления нарушителя является метод сверки журналов, когда сверяют записи журналов клиента (где хранятся записи действий исходящих с компьютеров персонала клиента) и записи журналов поставщика (где хранятся все действия) — таким образом можно легко определить статус нарушителя (либо это недобросовестный работник, либо это взломщик). Важно знать, что «Только сбор данных, их объединение и вывод на внешние инструменты, к примеру на сервер Syslog, платформу безопасности с функцией проверки журналов или на систему управления событиями информационной безопасности (Security Information and Event Management, SIEM), позволяют осуществить их последующий анализ» [1]. Ниже можно увидеть приложение для администрирования (в т. ч. и журнализации) одного из поставщиков облачных сервисов.

«С точки зрения обеспечения безопасности облака представляют собой лишь одну из разновидностей инфраструктурных платформ, пусть даже с высокой степенью автоматизации. Разумеется, и в облаке не обойтись без процессов, которые хорошо зарекомендовали себя в традиционных физических системах. Такие основополагающие функции, как межсетевой экран, IDS/IPS, виртуальное закрытие уязвимостей (Virtual Patching) и антивирусы, являются обязательными элементами любой концепции безопасности, будь то физические, виртуальные или облачные системы. А вот задачи, возникающие при управлении этими функциями, в различных инфраструктурах отличаются.

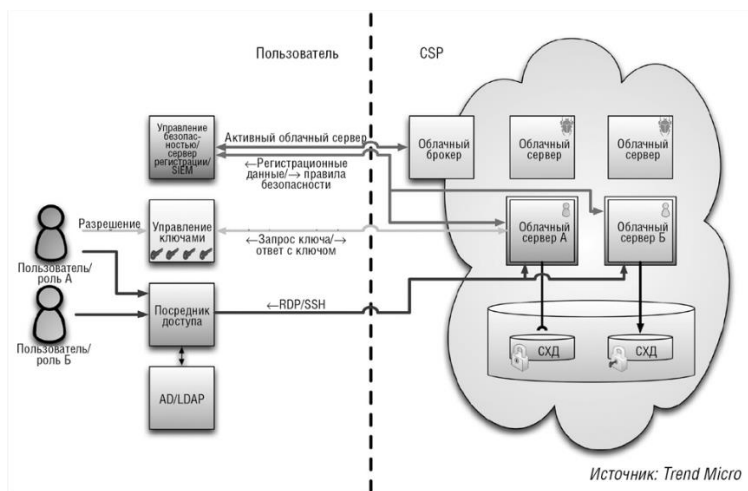




доступ на работу с данными до тех пор пока не будет нарушена целостность набора данных указанного выше. Ниже приведён пример различных способов хранения ключей и их сравнение.



**Рисунок 4. Схема работы хранения ключей**



**Рисунок 5. Схема раздельного администрирования ключей**

В системах типа IaaS (Infrastructure as a Service) или в некоторых PaaS (Platform as a Service) используется нижеуказанная схема раздельного администрирования ключей зашифрованных данных.

А как же быть с процессом передачи данных, как защитить его? На этот вопрос отвечают широко известные протоколы SSL и VPN, которые выдают цифровые сертификаты, проверяющие данные другой стороны ещё до начала передачи данных, в случае успешной проверки начинается передача данных. Эти сертификаты могут храниться в зашифрованном виде и так же проверяться с помощью KMS, что делает возможность взлома невероятно малой.

Подводя итоги можно сказать, что рациональное использование всех методов позволяет существенно снизить риск взлома (вплоть до 0) и забыть об одном из недостатков облачных сервисов. Важно помнить, что безопасность хранимых данных в первую очередь зависит от таких банальных решений как Антивирусы и Брандмауэры на локальных машинах, ведь эффективность почти всех этих методов подразумевает отсутствие у злоумышленника доступа к локальным компьютерам клиента.

#### **Список литературы:**

1. Удо Шнайдер Безопасность при использовании облачных сервисов // Журнал сетевых решений LAN — 2013. — № 04. — С. 72—76.
2. Джордж Риз Облачные вычисления — БХВ-Петербург, 2011. — 288 с.

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ПОДБОРА ПЕРСОНАЛА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПРАВИЛ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

**Тагиров Владислав Камильевич**

*канд. пед. наук, доцент*

*Оренбургского государственного аграрного университета,*

*РФ, г. Оренбург*

*E-mail: [Vladtagir@mail.ru](mailto:Vladtagir@mail.ru)*

**Тагирова Лилия Фаритовна**

*канд. пед. наук, доцент*

*Оренбургского филиала Московского технологического института,*

*РФ, г. Оренбург*

*E-mail: [LG-77@mail.ru](mailto:LG-77@mail.ru)*

## INTELLECTUAL SUPPORT OF DECISION-MAKING IN PROBLEMS OF STAFF RECRUITMENT ON THE BASIS OF COMPOSITE RULES OF FUZZY LOGIC

*Vladislav Tagirov*

*candidate of pedagogical sciences, associate professor  
of the Orenburg state agricultural university,  
Russia, Orenburg*

*Liliya Tagirova*

*candidate of pedagogical sciences, associate professor  
of the Orenburg branch of the Moscow institute of technology,  
Russia, Orenburg*

### АННОТАЦИЯ

В статье описано решение проблемы подбора персонала, а именно автоматизация работы менеджера по подбору персонала. Описан алгоритм и разработано программное средство на основе нечеткой логики, позволяющие с помощью количественных оценок профессионально-значимых и личностных качеств кандидатов, выбрать сотрудника наиболее соответствующего требованиям вакантной должности.

### ABSTRACT

In article the solution of the problem of staff recruitment, namely automation of work of the HR manager is described. The algorithm is described and the software on the basis of fuzzy logic, allowing by means of quantitative estimates of professional and significant and personal qualities of candidates is developed, to elect the employee who is most conforming to requirements of vacant post.

**Ключевые слова:** композиционные правила; нечеткая логика; автоматизированная информационная система; алгоритм подбора сотрудников IT-отдела; оценка качеств кандидатов.

**Keywords:** composite rules; fuzzy logic; the automated information system; algorithm of selection of staff of IT department; assessment of qualities of candidates.

На современном этапе развития общества важной отличительной частью является процесс его информатизации. Деятельность ни одной успешной компании на сегодняшний день невозможно представить без использования в рабочем процессе различных программных средств,

направленных на автоматизацию всех сфер ее деятельности (автоматизированных информационных систем, программных комплексов, автоматизированных рабочих мест и т. д.).

Как следствие, для обслуживания и поддержания большого количества программных и аппаратных средств любой организации требуется все больше специалистов в области информационных технологий. В результате чего они становятся востребованы, не только в компаниях, работающих на рынке ИТ-услуг, но и в организациях практически всех сфер деятельности [1].

В то же время, современный рынок труда предлагает некоторое количество ИТ-специалистов, занимающихся компьютерным оборудованием и программным обеспечением для вычислительной техники — программистов, системных администраторов, сетевых и программных инженеров. Однако при подборе персонала, работодателям становится сложнее реализовать выбор подходящего сотрудника среди большого количества возможных претендентов.

Это обусловлено тем, что в настоящее время большинство организаций для определения трудовых качеств кандидатов используют трудоемкие традиционные методы, без использования средств автоматизации. В результате чего работа по подбору персонала охватывает значительный интервал времени, который расходуется на выявление уровня профессиональной подготовки кандидатов на должность на основе прохождения контрольно-измерительных испытаний, а затем на обработку данных. Таким образом, процесс выбора наиболее подходящего сотрудника усложняется.

Решением данной проблемы, на наш взгляд, станет разработка программного средства, позволяющего автоматизировать работу менеджера по подбору персонала при проведении оценки сформированности требуемых профессионально-значимых и личностных качеств кандидатов, анализе полученных данных и формировании отчетной документации. Использование данного программного средства, по нашему мнению, позволит оказать интеллектуальную поддержку при принятии решения о соответствии уровня подготовки кандидатов требованиям определенной должности ИТ-отдела, с целью выбора наиболее подходящего сотрудника [2].

В ИТ-отделе таковыми вакантными должностями являются следующие: руководитель разработки программного обеспечения, программист, специалист по информационным ресурсам, специалист по тестированию в области информационных технологий, системный аналитик, инженер технической поддержки. Причем каждая из перечисленных должностей предполагает обладание сотрудниками,

определенными профессионально-значимыми и личностными качествами, необходимыми ИТ-специалисту для успешной реализации в профессиональной деятельности сферы сетевых информационных технологий.

Анализ требований профессиональных стандартов и мониторинга мнений руководителей сферы ИТ-услуг позволил определить, что к таковым профессионально-значимым качествам относятся: знания в области информационных технологий, профессиональные умения в ИТ-сфере, профессиональные ИТ-навыки, ценностное отношение к будущей профессии. В свою очередь, к личностным качествам относятся: лидерство, коммуникабельность, умение работать в команде, стрессоустойчивость, стремление к самообучению и развитию, креативность, ответственность, самостоятельность, аккуратность, усидчивость [3].

В ходе проводимого исследования нами было выдвинуто предположение о том, что для каждой должности ИТ-отдела некоторые качества сотрудников должны быть сформированы на высоком уровне, а другие нет. Другими словами, для того чтобы соответствовать требованиям определенной должности ИТ-специалисты должны обладать определенными доминирующими качествами [4].

Для автоматизации процесса сопоставления личностных качеств кандидата на должность и требований профессионального стандарта, а также требований работодателя нами был выбран метод композиционных правил.

Основная идея заключается в том, что нечеткое множество  $A$  можно рассматривать как унарное отношение на универсуме  $X$ , а нечеткое множество  $B$  можно рассматривать как унарное отношение на универсуме  $Y$ . В этом случае первое отношение определяется функцией принадлежности  $\mu_A(x)$ , а второе отношение — функцией принадлежности  $\mu_B(y)$ .

Теперь предположим, что некоторым образом определено бинарное нечеткое отношение на декартовом произведении универсумов:  $R = \{ \langle x, y \rangle, \mu_R(\langle x, y \rangle) \}$ , где  $x \in X$  и  $y \in Y$ . Если дополнительно известна функция принадлежности  $\mu_A(x)$  первого множества, то функция принадлежности  $\mu_B(y)$  второго множества может быть определена в результате нечеткой композиции соответствующих нечетких отношений с использованием следующих 7 формул:

1. Мах-мин-композиция или максиминная свертка

$$\mu_B(y) = \max_{x \in X} \{ \min \{ \mu_A(x), \mu_Q(\langle x, y \rangle) \} \}$$

2. Мах-prod-композиция

$$\mu_B(y) = \max_{x \in X} \{\mu_A(x) \cdot \mu_Q(< x, y >)\}$$

3. Min-max-композиция

$$\mu_B(y) = \min_{x \in X} \{\max\{\mu_A(x), \mu_Q(< x, y >)\}\}$$

4. Мах-max-композиция

$$\mu_B(y) = \max_{x \in X} \{\max\{\mu_A(x), \mu_Q(< x, y >)\}\}$$

5. Min-min-композиция

$$\mu_B(y) = \min_{x \in X} \{\min\{\mu_A(x), \mu_Q(< x, y >)\}\}$$

6. Мах-averager-композиция

$$\mu_B(y) = 0.5 \cdot \max_{x \in X} \{\mu_A(x) + \mu_Q(< x, y >)\}$$

7. Sum-prod-композиция

$$\mu_B(y) = f \left( \sum_{x \in X} (\mu_A(x) \cdot \mu_Q(< x, y >)) \right)$$

В ходе проводимого научного исследования при решении задач подбора персонала IT-отдела было принято решение о реализации максиминной композиции. С этой целью была построена нечеткая модель, основанная на двух бинарных нечетких отношениях S и T. Первое из этих нечетких отношений строится на двух базисных множествах X и Y, а второе на двух базисных множествах Y и Z. Здесь X описывает должности, по которым проводится отбор на работу, Y — множество качеств, основанных на результатах проводимого с кандидатом профессионального тестирования, а Z — множество кандидатов на должности. В интересующем нас контексте нечеткое отношение S содержательно описывает качества, имеющиеся у кандидатов, а T — качества которыми должен обладать работник для того чтобы занимать конкретную должность в сфере IT-услуг.

Для конкретности, пусть  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_7\}$  (должности),  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_{14}\}$  (качества) и  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_7\}$  (кандидаты).

На основании заключения экспертов при анализе требований профессионального стандарта и мониторинга требований руководителей сферы ИТ-услуг, была получена эталонная таблица требуемых численных характеристик качеств работников для каждой должности ИТ-сферы (таблица 1). Другими словами, эта таблица содержит необходимый уровень сформированности профессионально-значимых и личностных качеств, необходимых кандидату для того чтобы соответствовать требованиям определенной должности.

*Таблица 1.*

**Эталонная таблица сформированности профессионально-значимых и личностных качеств ИТ-специалистов**

Профессия \ Качества	Руководитель ИТ-отдела	Администратор БД	Программист	Веб-разработчик	Администратор инф. безопасности	Системный администратор	Техник
Лидерство	1	0,3	0,5	0,2	0,7	0,2	0,1
Коммуникабельность	0,9	0,6	0,5	0,7	0,3	0,4	0,2
Работа в команде	1	0,6	0,8	0,7	0,5	0,6	0,5
Стрессоустойчивость	1	0,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,3
Ответственность	0,9	0,8	0,7	0,6	0,9	0,5	0,4
Креативность	0,5	0,6	0,7	0,8	0,2	0,4	0,3
Самообучение и развитие	1	0,8	0,9	0,9	0,7	0,5	0,2
Самостоятельность	0,9	0,7	1	0,8	0,7	0,6	0,4
Аккуратность	0,1	0,4	0,2	0,3	0,6	0,7	0,9
Усидчивость	0,5	0,6	0,2	0,7	0,6	0,8	0,9
Знания в области инф. технологий	0,7	0,8	0,7	0,9	0,6	0,8	0,7
Профессиональные умения в ИТ-сфере	0,6	0,7	1	0,9	0,7	0,9	0,5
Профессиональные ИТ-навыки	0,6	0,7	1	0,8	0,7	0,9	0,4
Ценностное отношение к профессии	0,9	0,6	0,5	0,5	0,8	0,4	0,3



Таблица 2.

Личностные качества кандидатов

Кандидаты	Лидерство	Коммуникабельность	Работа в команде	Стрессоустойчивость	Ответственность	Креативность	Самообучение и развитие	Самостоятельность	Аккуратность	Усидчивость
Кандидат 1	0,45	0,45	0,3	0,55	0,5	0,95	0,5	0,85	0,3	0,25
Кандидат 2	0,9	0,2	0,35	0,55	0,95	0,1	0,6	0,55	0,4	0,65
Кандидат 3	0,7	0,55	0,9	0,6	0,7	0,5	0,5	0,85	0,1	0,85
Кандидат 4	0,6	0,8	0,1	0,85	0,1	0,3	0,8	0,9	0,9	0,3
Кандидат 5	0,5	0,1	0,5	0,55	0,9	0,8	0,6	0,65	0,25	0,75
Кандидат 6	0,8	0,3	0,65	0,6	0,75	0,7	0,1	0,55	0,4	0,2
.....										
Кандидат n	0,95	0,3	0,95	0,55	0,35	0,65	0,1	0,2	0,2	0,6

Для оценки соответствия уровня профессиональной подготовки были исследованы качества кандидатов. В результате были получены данные об их уровне сформированности личностных и профессиональных качеств, представленные в таблицах 2 и 3.

**Таблица 3.**

**Профессионально-значимые качества кандидатов**

Студент	Знания в области инф. технологий	Проф. умения в ИТ-сфере	Проф. ИТ-навыки	Ценностное отношение к профессии
Айвазьян А.А.	0,82	0,22	0,64	0,86
Амиров В.Д.	0,76	0,26	0,88	0,36
Бикмуллин Д.Р.	0,46	0,6	0,44	0,3
Васильченко И.Н.	0,42	0,82	0,28	0,88
Гарнова И.В.	0,36	0,28	0,32	0,9
Гартвинг Б.В.	0,9	0,66	0,86	0,62
Гузенок А.А.	0,54	0,48	0,58	0,62

На основании таблиц 2,3 и 4 были найдены конкретные значения функций принадлежности  $\mu_T(<y_i, z_k>)$  (таблица 2) и  $\mu_S(<x_i, y_j>)$ .

Матрицы этих нечетких отношений имеют следующий вид:

$$M_T = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0.7 & 0.2 & 0.1 \\ 0.9 & 0.6 & 0.5 & 0.7 & 0.3 & 0.4 & 0.2 \\ 1.0 & 0.6 & 0.8 & 0.7 & 0.5 & 0.6 & 0.5 \\ 1.0 & 0.7 & 0.8 & 0.6 & 0.9 & 0.4 & 0.3 \\ 0.9 & 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.9 & 0.5 & 0.4 \\ 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.2 & 0.4 & 0.3 \\ 1.0 & 0.8 & 0.9 & 0.9 & 0.7 & 0.5 & 0.2 \\ 0.9 & 0.7 & 1.0 & 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.4 \\ 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.6 & 0.7 & 0.9 \\ 0.5 & 0.6 & 0.2 & 0.7 & 0.6 & 0.8 & 0.9 \\ 0.7 & 0.8 & 0.7 & 0.9 & 0.6 & 0.8 & 0.7 \\ 0.6 & 0.7 & 1.0 & 0.9 & 0.7 & 0.9 & 0.5 \\ 0.6 & 0.7 & 1.0 & 0.8 & 0.7 & 0.9 & 0.4 \\ 0.9 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.8 & 0.4 & 0.3 \end{bmatrix}$$

$$M_S = \begin{bmatrix} 0.45 & 0.45 & 0.30 & 0.55 & 0.50 & 0.95 & 0.50 & 0.85 & 0.30 & 0.25 & 0.82 & 0.22 & 0.64 & 0.86 \\ 0.90 & 0.20 & 0.35 & 0.55 & 0.95 & 0.10 & 0.60 & 0.55 & 0.40 & 0.65 & 0.76 & 0.26 & 0.88 & 0.36 \\ 0.70 & 0.55 & 0.90 & 0.60 & 0.70 & 0.50 & 0.50 & 0.85 & 0.10 & 0.85 & 0.46 & 0.60 & 0.44 & 0.30 \\ 0.60 & 0.80 & 0.10 & 0.85 & 0.10 & 0.30 & 0.80 & 0.90 & 0.90 & 0.30 & 0.42 & 0.82 & 0.28 & 0.88 \\ 0.50 & 0.10 & 0.50 & 0.55 & 0.90 & 0.80 & 0.60 & 0.65 & 0.25 & 0.75 & 0.36 & 0.28 & 0.32 & 0.90 \\ 0.80 & 0.30 & 0.65 & 0.60 & 0.75 & 0.70 & 0.10 & 0.55 & 0.40 & 0.20 & 0.90 & 0.66 & 0.86 & 0.62 \\ 0.95 & 0.30 & 0.95 & 0.55 & 0.35 & 0.65 & 0.10 & 0.20 & 0.20 & 0.60 & 0.54 & 0.48 & 0.58 & 0.62 \end{bmatrix}$$

Поскольку рассматриваемые нечеткие отношения удовлетворяют формальным требованиям, необходимым для выполнения их нечеткой композиции, результат операции нечеткой композиции этих отношений может быть представлен в виде матрицы результирующего нечеткого отношения.

Рассмотрим, каким образом получается одно из значений функции принадлежности композиции, например, значение  $\mu_{S \otimes T}((x_1, y_3)) = 0,85$ . Вначале найдем минимальные значения функции принадлежности всех пар элементов первой строки таблицы 2 и первого столбца таблицы 3. А именно:  $\min\{0,45, 0,5\} = 0,45$ ,  $\min\{0,45, 0,5\} = 0,45$ ,  $\min\{0,3, 0,8\} = 0,3$ ,  $\min\{0,55, 0,8\} = 0,55$ ,  $\min\{0,5, 0,7\} = 0,5$ ,  $\min\{0,95, 0,7\} = 0,7$ ,  $\min\{0,5, 0,9\} = 0,85$ ,  $\min\{0,85, 1\} = 0,85$ ,  $\min\{0,3, 0,2\} = 0,2$ ,  $\min\{0,25, 0,2\} = 0,2$ ,  $\min\{0,82, 0,7\} = 0,7$ ,  $\min\{0,22, 1\} = 0,22$ ,  $\min\{0,64, 1\} = 0,64$ ,  $\min\{0,85, 0,5\} = 0,5$ . После этого найдем максимальное из 14 полученных значений, которое и будет являться искомым значением функции принадлежности:

$$\mu_{S \otimes T}((x_1, y_1)) = \max\{0,45, 0,45, 0,3, 0,55, 0,5, 0,7, 0,85, 0,85, 0,2, 0,2, 0,7, 0,22, 0,64, 0,5\} = 0,9.$$

Остальные значения функции принадлежности были найдены аналогичным образом. В результате была получена квадратная матрица  $7 \times 7$ . Максимальное значение в столбце соответствует профессии наиболее подходящей для кандидата.

Далее представлена экранная форма работы программного средства подбора персонала ИТ-отдела. Как видно на рисунках кандидатам, в результате работы программного средства, были присвоены соответствующие должности.

Аналогичным образом, с помощью программного средства можно реализовать тестирование большого количества кандидатов для оценки личностных и профессионально-значимых качеств, что позволит

более точно определить наиболее подходящего на соответствующую должность.

Студент	Профессионально-значимые качества											Профессия
	Лидерство	Коммуникабельность	Работа в команде	Стрессоустойчивость	Ответственность	Креативность	Самобучение и развитие	Самостоятельность	Актуальность	Устойчивость		
Айвазян А.А.	45	45	30	55	50	95	50	85	30	25	Программист	<a href="#">Подробнее</a>
Амиров В.Д.	90	20	35	55	95	10	60	55	40	65	Руководитель IT-отдела	<a href="#">Подробнее</a>
Биммуллин Д.Р.	70	55	90	60	70	50	50	85	10	85	Руководитель IT-отдела	<a href="#">Подробнее</a>
Васильченко И.Н.	60	80	10	85	10	30	80	90	90	30	Программист	<a href="#">Подробнее</a>
Гарнова Н.В.	50	10	50	55	90	80	60	65	25	75	Руководитель IT-отдела	<a href="#">Подробнее</a>
Гартиев Б.В.	80	30	65	60	75	70	10	55	40	20	Программист	<a href="#">Подробнее</a>
Гузенок А.А.	95	30	95	55	35	65	10	20	20	60	Руководитель IT-отдела	<a href="#">Подробнее</a>

**Рисунок 1. Результаты тестирования кандидатов (личностные качества) с наиболее подходящей для него должностью**

Студент	Профессионально-значимые качества				Профессия	
	Знания в области информационных технологий	Профессиональные умения в IT-сфере	Профессиональные IT-навыки	Ценностное отношение к будущей профессии		
Айвазян А.А.	82	22	64	86	Программист	<a href="#">Подробнее</a>
Амиров В.Д.	76	26	88	36	Руководитель IT-отдела	<a href="#">Подробнее</a>
Биммуллин Д.Р.	46	60	44	30	Руководитель IT-отдела	<a href="#">Подробнее</a>
Васильченко И.Н.	42	82	28	88	Программист	<a href="#">Подробнее</a>
Гарнова Н.В.	36	28	32	90	Руководитель IT-отдела	<a href="#">Подробнее</a>
Гартиев Б.В.	90	66	86	62	Программист	<a href="#">Подробнее</a>
Гузенок А.А.	54	48	58	62	Руководитель IT-отдела	<a href="#">Подробнее</a>

**Рисунок 2. Результаты тестирования кандидатов (профессионально-значимые качества) с наиболее подходящей для него должностью**

Хотелось бы отметить, что использование предложенного программного средства может быть реализовано не только в IT-сфере, но и в любой области при подборе персонала.

### Список литературы:

1. Насейкина Л.Ф. Методика оценки компетентности будущих IT-специалистов // Вестник ОГУ, — 2015. — № 1. — С. 60—65.
2. Насейкина Л.Ф., Тагиров В.К. Структурно-функциональная модель формирования профессиональной компетентности будущих IT-специалистов // Вестник ОГУ, — 2015. — № 2. — С. 118—123.

3. Тагиров В.К., Тагирова Л.Ф. Педагогические условия формирования готовности студентов вуза к профессиональной деятельности в сфере ИТ-услуг // Дистанционное и виртуальное обучение, — 2015. — № 4. — С. 92—101.
4. Тагиров В.К., Тагирова Л.Ф., Тагирова Е.А. Профессиональные стандарты в сфере информационных технологий как основной критерий повышения качества подготовки ИТ-кадров в вузе / Личность, семья и общество: вопросы педагогики и психологии: материалы L-LI международной научно-практической конференции — № 50—51. — Новосибирск: Изд. «СИБАК», 2015. — С. 82—88.

## СЕКЦИЯ 2.

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

#### ДЕГАЗАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА БАКОВ ОТКРЫТОГО ТИПА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ

*Павлович Игорь Львович*

*ведущий инженер технолог,  
Самарский государственный аэрокосмический университет  
РФ, г. Самара, Московское шоссе, 34  
E-mail: [I G O R IP@mail.ru](mailto:I.G.O.R.IP@mail.ru)*

#### DEGASSING DEVICE FOR TANKS OF OPEN TYPE HYDRAULIC TEST STANDS

*Igor Pavlovich*

*lead engineer technologist,  
the Samara state aerospace University  
Russia, Samara, Moskovskoe shosse, 34*

#### АННОТАЦИЯ

Приведены результаты работ по комбинированным системам дегазации рабочей жидкости в баках открытого типа гидравлических стендов с целью повышения достоверности результатов испытаний.

Комбинированное устройство дегазации жидкости в баках открытого типа может быть использовано в других системах, например, в гидроприводе шлюзов судоходных гидротехнических сооружений для снижения перекоса затворов и ворот в процессе их перемещения.

В рамках работы получен патент на изобретение № 2556937 «Способ дегазации жидкости и устройство для его осуществления», опубликован 19.06.2015 г.

#### ABSTRACT

The results of the work on combined systems degassing the working fluid in the tanks open type hydraulic stands with the aim of increasing

the reliability of the test results. The combined device degassing liquids in tanks open type can be used in other systems, for example, in a hydraulic actuator gateways navigable hydraulic structures to reduce the misalignment of the valves and gates in the process of moving. In the framework of the patent for the invention № 2556937 "Method of degassing of liquids and device for its implementation", published by G. 19.06.2015

**Ключевые слова:** Гидробак; устройство дегазации жидкости.

**Keywords:** The hydraulic tank; the degassing device of the liquid.

Анализ современных технических материалов позволяет утверждать, что использование стационарных средств очистки, осушки и дегазации рабочей жидкости позволит значительно повысить надежность различных гидравлических систем как непосредственно в условиях их эксплуатации, так и снизить трудоемкость их технического обслуживания и ремонта.

Наметившаяся в настоящее время тенденция по реконструкции существующих испытательных стендов, например, на предприятиях авиакосмического комплекса и специальных систем с гидравлическим приводом, например, для шлюзовых сооружений выдвигает новые повышенные требования к качеству и характеристикам, используемых в этих системах узлов и агрегатов.

По данным ООО «ОйлДиагностикСервис» в системах с гидравлическим приводом более 50% их отказов приходится на гидропривод, причем от 70 до 80 % отказов гидропривода происходит из-за механических примесей, попавших в рабочую жидкость [1], также на интенсивность изнашивания элементов гидропривода влияет наличие в рабочей жидкости воды и газа. Одновременно присутствие нерастворенного газа в рабочей жидкости приводит к изменению статических и динамических характеристик гидроагрегатов. Например, по данным Михайлова А.А. [2] при увеличении газосодержания в рабочей жидкости грузоподъемной машины ЛП-18К2 происходит значительное увеличение времени страгивания поршней и полного выдвижения штоков гидроцилиндров. Причина появления газа в жидкости-кавитационные процессы, негерметичность всасывающих гидролиний, волновые и вихревые поверхностные течения рабочей жидкости в гидробаке, монтаж и демонтаж испытываемых гидроагрегатов, замена гидроагрегатов при ремонте, износ уплотнений и др. Содержание газа в рабочей жидкости зависит также от вида жидкости-вода, минеральное или синтетическое масло с присадками или без них, эфирные жидкости, спирты и др.

До последнего времени именно обеспечение заданной чистоты рабочей жидкости, определяемой количеством и размером твердых частиц, было главной частью задачи обеспечения качественной работы гидропривода. Наличие в масле газа и воды существенно увеличивает содержание в масле твердых примесей и, следовательно, влияет на качественную работу гидропривода.

До настоящего времени задача борьбы с газосодержанием рабочей жидкости решалась в основном при техническом обслуживании гидропривода (заправка гидробака рабочей жидкостью, периодическая очистка, осушка и дегазация рабочей жидкости, например, вакуумным методом) гидропривода за счет различных технических решений, например, термо-вакуумным методом и фильтровальных дополнительных устройств [3].

В настоящее время одна из основных причин, влияющих на изменение характеристик рабочей жидкости, является газовыделение из жидкости при кавитационных режимах ее течения в регулирующих и направляющих элементах гидроприводов.

Исходя из выше изложенного можно спрогнозировать, что по мере оснащения шлюзового хозяйства различными системами гидроприводов, задача по снижению содержания газа в минеральных маслах и перспективных рабочих жидкостях в том числе на эфирной основе (включая разработку методик инженерных расчетов гидросистемы с учетом газовоздушной фазы и создание конструктивно простых и экономичных дегазирующих устройств), будет становиться все более актуальной.

Применительно к процессу производства гидроприводов, гидросистем и гидроагрегатов, приемка и испытания которых производится на гидравлических стендах, например по ГОСТ 20245-74, ГОСТ 18464-96, ГОСТ Р 52543-2006 величина газосодержания рабочей жидкости в гидробаке должна нормироваться при единичном и опытном производстве или если в условиях серийного производства имеет место отклонения контролируемого параметра от допустимых значений.

Известен ряд методов дегазации рабочих жидкостей. К основным методам дегазации необходимо отнести вакуумный, термический, центробежный, гравитационный и другие методы.

Автором предлагается на базе гравитационного метода оригинальная комбинированная конструкция дегазационного устройства масла для динамических баков открытого типа, обеспечивающая динамические характеристики параметров рабочей жидкости на входе в насос при изменениях газосодержания в сливной полости бака.

Предлагаемое устройство позволяет повысить эффективность способа и устройства дегазации жидкости на сетке в гидробаке



открытого типа путем интенсификации процесса дегазации за счет многоступенчатости обработки жидкости на сетке, что позволит улучшить и расширить показатели качества электрогидромеханических систем и их агрегатов.

Технический результат достигается тем, что интенсификация процесса дегазации жидкости в заявляемом способе осуществляется за счет того, что сетке придают низкочастотную поперечную вибрацию, приводящую к встряхиванию пузырьков газа, а на входе сетки методом барботажа, что также способствует укрупнению пузырьков газа, создают газожидкостной слой с высокочастотным пульсирующим давлением низкой интенсивности.

Гидробак для реализации этого способа дегазации жидкости снабжен пневматическим динамическим вибратором с модулированной фазой колебания газа, выходной канал которого установлен на сетке со стороны выхода потока.

Способ дегазации рабочей жидкости в гидробаке открытого типа заключается в следующем. Через патрубок происходит слив рабочей жидкости с повышенным газосодержанием в полость гидробака. При переливе рабочей жидкости из полости в полость через перегородку происходит ее первичная дегазация в тонких слоях. Основная дегазация происходит на сетке, которой придают низкочастотную вибрацию. На входе рабочей жидкости в ячейки сетки создается методом барботажа газожидкостной слой с высокочастотным пульсирующим давлением низкой интенсивности.

Данный способ и устройство для его осуществления защищен патентом на изобретение РФ № 2556937 «Способ дегазации жидкости и устройство для его осуществления» (опубликован 19.06.2015 г.).

### Список литературы:

1. Данные ООО «ОйлДиагностикСервис» по замене масла в гидроприводе и промывке гидропривода [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — URL: [http://oil-diagnostic.ru/index/promyvka\\_gidroprivoda/0-13](http://oil-diagnostic.ru/index/promyvka_gidroprivoda/0-13) (дата обращения 08.09.2015 г.).
2. Михайлов А.А. Повышение производительности гидрофицированных грузоподъемных машин дегазацией рабочей жидкости. Автореферат диссертации по машиностроению и машиноведению. Братск. 2011 [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — URL: <http://tekhnosfera.com/povyshenie-proizvoditelnosti-gidrofitsirovannyh-gruzopodemnyh-mashin-degazatsiey-rabochey-zhidkosti> (дата обращения 08.09.2015 г.).
3. Рокшевский В.А. и др. Снижение содержания воздуха и воды в рабочих жидкостях гидросистем. М.: НИИмаш., 1981. — 52 с.

## ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТУПЕНЧАТОГО НАГРУЖЕНИЯ

**Прис Наталья Михайловна**

канд. техн. наук,  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Нижегородский Государственный Технический Университет  
им. Р.Е. Алексеева» Арзамасский Политехнический Институт (филиал),  
РФ, г. Арзамас  
E-mail: [pris@apingu.edu.ru](mailto:pris@apingu.edu.ru)

**Безменова Анастасия Владимировна**

магистр, федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Нижегородский Государственный Технический Университет  
им. Р.Е. Алексеева» Арзамасский Политехнический Институт (филиал),  
РФ, г. Арзамас  
E-mail: [strela120481.bezmenova@yandex.ru](mailto:strela120481.bezmenova@yandex.ru)

## ASSESSMENT OF FATIGUE DURABILITY AT ACTION OF STEP LOADING

**Natalja Pris**

cand. Tech. Sci., the federal state budgetary educational institution  
of higher education "Nizhny Novgorod State Technical University  
of R.E. Alekseev" Arzamas Polytechnical Institute (branch),  
Russia, Arzamas

**Anastasia Bezmenova**

master, the federal state budgetary educational institution of higher  
education "Nizhny Novgorod State Technical University of R. E. Alekseev"  
Arzamas Polytechnical Institute (branch),  
Russia, Arzamas

### АННОТАЦИЯ

В работе представлена методика определения предельного состояния типовых конструкций с целью их проверки на вибро-

стойкость и вибростойкость при использовании метода ступенчатого нагружения (метода Локати). Дана оценка вибростойкости конструкции по результатам измерений и разработан термодинамический подход для оценки вибростояния образцов.

#### ABSTRACT

The paper presents the method of determining the limit of standard designs for the purpose of verification of the vibration resistance and vibration resistance when using the method of stepwise loading (method Locate). Assessed vibration resistance design according to the results of measurements and developed a thermodynamic approach for evaluating the vibration state of the samples.

**Ключевые слова:** вибрационные нагрузки; метод ступенчатого нагружения (метод Локати).

**Keywords:** vibration loading; step loading (method Locate).

Приборы в условиях эксплуатации испытывают воздействие вибрационных нагрузок.

Вибрации возникают на различных видах конструкций при транспортировании различными видами транспорта и на траектории полета (хода) носителя.

Вибрации, как показывает опыт, могут являться причиной возникновения многих дефектов конструкций, нарушений механической целостности несущих элементов, преждевременных отказов функционирования систем. Поэтому вибрационным испытаниям на всех этапах лабораторно-конструкторской отработки приборов отводится большая роль.

Целью вибрационных испытаний является исследование динамических характеристик и прочности приборов на соответствие техническим требованиям.

В настоящее время одним из самых простых способов нагружения конструкций на предельное состояние является метод ступенчатого нагружения (метод Локати). Этот метод применяют при ускоренной оценке предела выносливости образцов и изделий машиностроения, при исследовании воздействия, как гармонической, так и случайной вибраций. Таким образом, по результатам вибрационных испытаний конструкций на предельное состояние методом Локати можно провести оценку вибростойкости конструкции. Данный метод позволяет экспериментально определить наступление предельного состояния конструкции по мере ступенчатого увеличения амплитуды задаваемых нагрузок.

В процессе лабораторно-конструкторской отработки макетов конструкций на воздействие вибрационных нагрузок возникают различного вида нарушения сборочного состояния. Это, как правило, обнаруживали ранее визуальным осмотром деталей конструкции после проведения виброиспытаний.

Как показал анализ, потеря несущей способности конструкции возникает при нарушении прочности или потере устойчивости.

В первом случае к таким нарушениям относятся следующие дефекты: трещины, возникающие на поверхности в месте перехода сатурника в сферическую или коническую части стальных оболочек; трещины, зафиксированные на трубопроводах системы газового наполнения конструкций; трещины и разрушения других деталей конструкции, таких как штырь, втулка, брикеты и т. д.

Во втором случае (потеря устойчивости), к нарушениям относятся такие дефекты как: относительное смещение сферических деталей, контактирующих друг с другом, либо непосредственно по сферическим поверхностям, самоотвинчивание резьбовых соединений и т. п.

Этим списком дефектов можно ограничить большинство случаев потери несущей способности конструкций [2, с. 45].

Проверка конструкции на предельное состояние от воздействия вибрационных нагрузок позволяет оценивать возможности данной конструкции выдерживать максимально допустимые нагрузки.

Метод часто применяется при ускоренной оценке предела выносливости образцов и изделий машиностроения. Он наиболее прост и практичен в своем применении и не требует дополнительного испытательного оборудования, а также значительных материальных затрат. Метод позволяет сократить время испытаний в 30—70 раз, за счет сокращения количества испытываемых образцов изделий.

Ввиду этого предлагается проводить виброиспытания конструкций методом ступенчатого нагружения до наступления в конструкции предельного состояния. При этом первоначальный режим нагружения назначается в соответствии с ОСТ В95 1036-85 [3, с. 520]. Далее, с шагом увеличения нагрузки на определенную величину, доводить конструкцию до потери прочности или устойчивости.

Длительность испытаний на каждом режиме нагружения определяется техническим заданием на опыт, исходя из условий эксплуатации, т. е. предполагаемого полета носителя, в состав которого входит специзделие. Каждый раз, проводя виброиспытания, задавая при этом уровень нагрузки и время действия этой нагрузки на конструкцию, проверяется ее прочность и устойчивость. Метод

применим при воздействии на конструкцию как гармонической, так и случайной вибраций. Порядок проведения виброиспытаний конструкций согласуется с СТПА 4428-86 [1, с. 91].

Суть метода ступенчатого нагружения (метода Локати) заключается в следующем: исходя из предположения о линейной зависимости накопленного повреждения от числа циклов переменных нагружений, вычисляется величина предельного накопленного повреждения (т. е. такого, которое достигается при наступлении предельного состояния объекта испытания) при известных уравнении кривой усталости  $N=f(\sigma)$  и законе возрастания амплитуды нагрузки от числа циклов  $\sigma=\varphi(n)$ . В зависимости от конкретных целей и методики расчета в качестве уравнений кривых усталости могут использоваться уравнения реальных экспериментальных кривых, соответствующих вероятности разрушения  $p=0,5$  (или иной вероятности), а также условные кривые, как это принято при испытаниях по методу Локати.

Из предложенных к настоящему времени многочисленных функций для аналитического представления кривых усталости рассмотрим две наиболее употребительные:

- степенную  $\sigma^m N = C$ , (1)
- экспоненциальную  $N = N_0 \exp\left(-\frac{\sigma - \sigma_R}{k_e}\right)$ , (2)

которые удобны тем, что линеаризуются при логарифмировании: первая — в двойных логарифмических, вторая — в полулогарифмических координатах:

$$\lg N = \lg C - m \lg \sigma, \quad (3)$$

$$\lg N - \lg N_0 = -\frac{1}{k}(\sigma - \sigma_R), \quad (4)$$

где:  $\sigma_R$  — предел выносливости;

$N_0$  — абсцисса точки перелома кривой усталости;

$\lg C$  — отрезок, отсекаемый кривой (3) на оси абсцисс;

$m$  — характеристика наклона левой ветви кривой усталости в логарифмических координатах;

$k$  — характеристика наклона левой ветви кривой усталости в полулогарифмических координатах;

$k_e=kM$ ,  $M=\lg e \approx 0,4343$  — модуль перехода от натуральных логарифмов к десятичным.

Поскольку использование десятичных логарифмов в уравнениях (3) и (4) является общепринятым, то уравнение кривой усталости можно представить в виде:

$$N = N_0 \cdot 10^{-\frac{\sigma - \sigma_R}{k}}. \quad (5)$$

Для записи (2), (4) и (5) вместо точки перелома можно использовать любую другую точку кривой усталости, для которой известны координаты ( $N^*$ ,  $\sigma^*$ ):

$$N = N^* \cdot 10^{-\frac{\sigma - \sigma^*}{k}}. \quad (6)$$

Это соотношение используется при выводе расчетных зависимостей.

Ускоренные расчеты на усталость осуществляются при циклическом нагружении с амплитудой напряжений, возрастающей от начального значения  $\sigma_0$  до величины  $\sigma_p$ , при которой происходит разрушение, по следующему закону:

$$\sigma = \sigma_0 + \alpha n, \quad (7)$$

где:  $n$  — текущее значение числа циклов нагружения;

$\alpha$  (МПа/цикл) — скорость возрастания амплитуды напряжений.

Увеличение амплитуды напряжений может осуществляться непрерывно, обычно с постоянной скоростью, или ступенями равной величины  $\Delta\sigma$  и продолжительности  $n_i$ . В последнем случае средняя скорость роста напряжений равна:

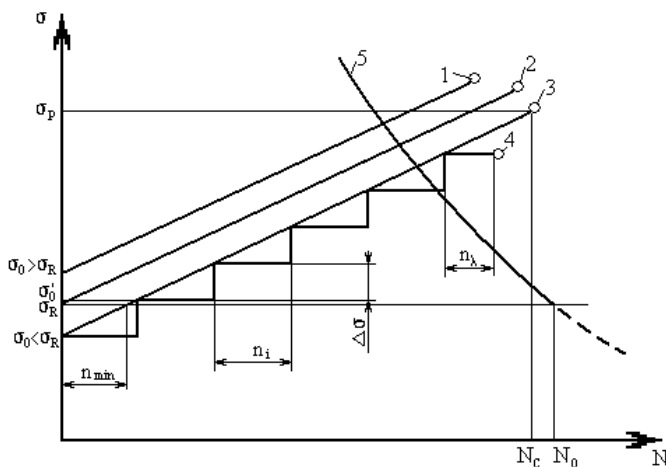
$$\alpha = \frac{\Delta\sigma}{n_i}. \quad (8)$$

и так же остается постоянной. Результатом испытания каждого объекта (образца, детали) являются координаты ( $N_c$ ,  $\sigma_p$ ), соответствующие моменту разрушения. При этом согласно (7) получается, что:

$$\sigma_p = \sigma_0 + \alpha N_c. \quad (9)$$

Расчетная схема, соответствующая описанной постановке, приведена на рисунке 1 в натуральных координатах ( $N$ - $\sigma$ ). Прямые 1,2

и 3 изображают закон непрерывного возрастания амплитуды напряжений при различных положениях начального напряжения  $\sigma_0$  относительно предела выносливости  $\sigma_R$ . Ломаной 4 показан процесс ступенчатого увеличения напряжений. Линия 5 — кривая усталости.



**Рисунок 1. Расчетная схема**

Величина предельного накопления повреждения  $a$  при ступенчатом возрастании амплитуды напряжений есть сумма относительных долговечностей на всех уровнях нагрузки:

$$a = \sum_{i=0}^{\lambda} \frac{n_i}{N_i}, \quad (10)$$

где:  $\lambda$  — число ступеней нагрузки;

$n_i$  — число циклов на  $i$ -м уровне;

$N_i$  — долговечность по кривой усталости на том же уровне.

На основании равенства всех ступеней ( $\Delta\sigma$  и  $n_i$ ) и представления (10) в виде суммы членов геометрической прогрессии получается формула:

$$a = \frac{n_i}{N_0} \cdot \frac{10^{\lambda \frac{\Delta\sigma}{k}} - 1}{10^{\frac{\Delta\sigma}{k}} - 1}, \quad (11)$$

уточненная впоследствии путем введения члена, учитывающего фактическую наработку на последней (разрушающей) ступени  $n_\lambda > n_i$ , а также «расчетного» начального напряжения  $\sigma_0'$ , т. е. того минимального напряжения, которое участвует в накоплении повреждений:

$$a = \frac{n_i}{N_0} 10^{\frac{\sigma_0' - \sigma_R}{k}} \left( \frac{10^{\lambda \frac{\Delta\sigma}{k}} - 1}{10^{\frac{\Delta\sigma}{k}} - 1} + \frac{n_\lambda}{n_i} 10^{\lambda \frac{\Delta\sigma}{k}} \right). \quad (12)$$

Предлагаемый методический подход к испытаниям конструкций на предельное состояние при действии вибрационных нагрузок использован в дальнейшем для оценки повреждаемости образца и является усовершенствованной методикой виброиспытаний конструкций в соответствии с отраслевым стандартом [3, с. 93]. Различие наблюдается в продолжении испытаний после проверки конструкций на прочность и устойчивость от воздействия нормального (задаваемого) уровня нагружения.

### Список литературы:

1. Балаковский О.Б. Расчет накопленного повреждения при ускоренных испытаниях на усталость методами возрастающей нагрузки. Прикладная механика — № 5, — 1982, — С. 90—95.
2. Муравьев Н.Д. Прочность составных частей специзделий при действии виброн нагрузок, приходящих на специзделия при боевом применении. Диссертация. РФЯЦ-ВНИИЭФ, Инв. № 15/8190сс, 1996.
3. ОСТ В95 1036-85. Конструкции специальные. Методика вибрационных испытаний, 1985.



### СЕКЦИЯ 3.

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЯХ

*Бурлакова Марина Олеговна*

*магистр, ВолгГТУ,  
РФ, г. Волгоград*

*E-mail: [marina.225@mail.ru](mailto:marina.225@mail.ru)*

*Гевлич Сергей Олегович*

*ООО «Экспертиза»,  
РФ, г. Волгоград*

### STUDY OF THE STRESS RELAXATION IN THE LOW ALLOYED STEELS

*Marina Burlakova*

*masters, VSTU,  
Russia, Volgograd*

*Sergey Gevlich*

*ООО "Expertise",  
Russia, Volgograd*

### АННОТАЦИЯ

Научно-исследовательская работа посвящена исследованию релаксационной стойкости низколегированных свариваемых сталей. В данной работе исследована кинетика релаксации напряжений первого рода в ряде материалов, типичных для химического и нефтяного машиностроения, в условиях, моделирующих режимы послесварочной термообработки для снижения напряжений. Настоящее исследование

показало, что наибольшее снижение напряжений в малоуглеродистых низколегированных свариваемых сталях происходит на стадии неустановившейся релаксации, продолжительность которой уменьшается с увеличением температуры нагрева.

### ABSTRACT

The research work devoted to the study of the relaxation resistance of low-alloy weld steels. In this work the kinetics of stress relaxation of the first kind in a number of materials typical chemical and petroleum engineering, under conditions simulating modes postweld heat treatment to reduce stress. The present study showed that the greatest decrease in stress in low-carbon low-alloy welded steels occurs at the stage of transient relaxation, the duration of which decreases with increasing temperature.

**Ключевые слова:** упругопластическая релаксация; сварочные напряжения; разупрочнение; энергия активации; термообработка; сталь; дислокации.

**Keywords:** elastoplastic relaxation; welding voltage; softening; activation energy; heat treatment; steel; dislocation.

Исследование релаксационной стойкости низколегированных свариваемых сталей представляет важную научную и практическую задачу, поскольку большинство сварных конструкций, например, в химическом и нефтяном машиностроении подвергают термообработке для снижения остаточных сварочных напряжений. Согласно данным работы [2], снижение напряжений протекает в условиях простой упругопластической релаксации [1].

В большинстве случаев, исследования в области релаксации напряжений, направлены на повышение сопротивления релаксации в конструкционных материалах путем легирования или специальной термообработки [1; 3]. Применительно к условиям послесварочной термообработки, решается обратная задача: при минимальных энергозатратах обеспечить максимальное снижение остаточных напряжений. В данной работе исследована кинетика релаксации напряжений первого рода в ряде материалов, типичных для химического и нефтяного машиностроения, в условиях, моделирующих режимы послесварочной термообработки для снижения напряжений.

Для проведения исследований использовали низколегированную (09Г2С) и малоуглеродистую (20ЮЧ) стали, химический состав и некоторые свойства которых приведены в таблице 1. Из листового проката в направлении проката вырезали пластины размером 200х30х3 мм. После механической резки и шлифования полученные

заготовки изгибали до получения подковообразного профиля, после чего проводили нормализационный отжиг при 930—950 °С. Термообработанные образцы очищали от окалины и зачищали обезуглероженный слой в зоне максимальной кривизны. На обезжиренную поверхность наклеивали тензорезистор. После просушки, используя стандартную мостовую схему, снимали «нулевой» отсчет.

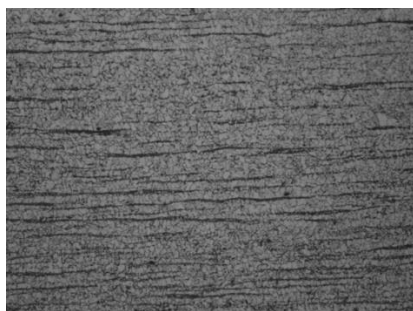
**Таблица 1.**

**Химический состав исследуемых сталей**

Марка стали	Содержание элементов, %										$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta$	$\psi$
	C	Mn	Si	Cr	Al	S	P	Cu	Ni	Mo	МПа	%		
09Г2С	0,102	1,32	0,47	0,05	-	0,020	0,016	-	-	-	280	460	64	31
20ЮЧ	0,180	0,10	-	0,02	0,05	0,004	0,015	0,005	-	-	260	440	72	32

Во всех испытаниях начальное напряжение составляло 0,9 предела текучести исследуемой стали в состоянии поставки. Нагруженный образец помещали в печь с заданной температурой и после термообработки охлаждали на воздухе. Дополнительно учитывали неодинаковое температурное расширение образца и струбцины, догружая его на величину  $\Delta\sigma_0$ , пропорциональную величине термического расширения.

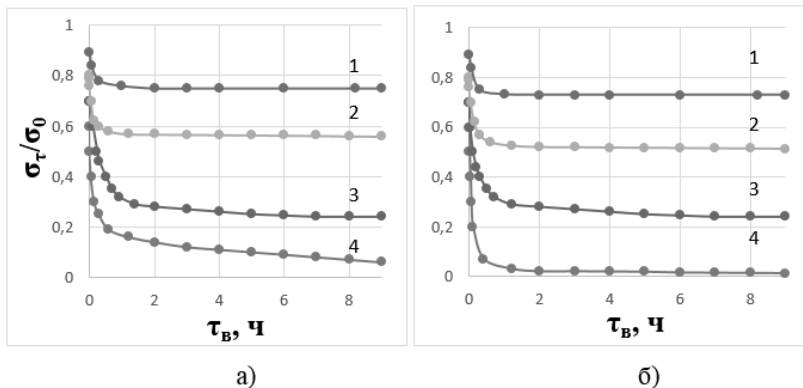
Микроструктура образца из стали 09Г2С до термообработки представлена на рисунке 1.



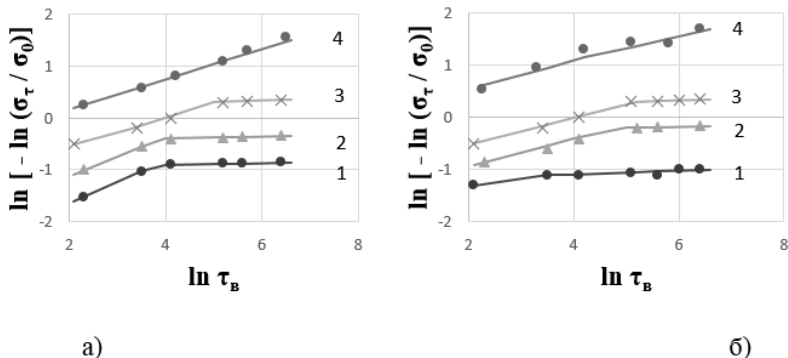
**Рисунок 1. Микроструктура основного металла низколегированной стали типа 09Г2С до термообработки, увеличение 100**

Полученные релаксационные кривые (первичные) для исследуемых сталей приведены на рис. 2. По внешнему виду они идентичны кривым упругопластической релаксации для материалов, не претерпевающих структурных изменений в исследуемом интервале

температур [1]. Кинетические зависимости подобного вида удовлетворительно описываются экспонентой Максвелла и в двойных логарифмических координатах линеаризуются. Справедливость сказанного подтверждается данными рис. 3, на котором представлены первичные релаксационные кривые в системе координат  $x - \ln \tau_b$ ,  $y - \ln | - \ln \sigma_\tau / \sigma_0 |$ , где  $\tau_b$  — время выдержки при температуре термообработки.



**Рисунок 2. Кинетические релаксационные кривые для сталей 09Г2С (а) и 20ЮЧ (б): 1—4 — температура отжига 300, 400, 500 и 650 °С соответственно**



**Рисунок 3. Линеаризованные кинетические релаксационные кривые (обозначения — см. рис. 2)**

Характерной особенностью полученных кривых (см. рис. 3) является наличие перегиба, что свидетельствует о двустадийности процесса релаксации в данных условиях. Согласно данным работы [1], первая кратковременная стадия — это неустановившаяся релаксация, вторая, более продолжительная — установившаяся. Для этого периода характерно незначительное изменение напряжений во времени.

### **Выводы**

Таким образом, сопоставляя перечисленные данные, отметим, что наиболее эффективное снижение напряжений первого рода в ферритно-перлитных сталях 09Г2С и 20ЮЧ наблюдается в области температур вблизи  $0,5 T_{пл}$  в течение 1,5—3 ч. Дальнейшее увеличение времени выдержки не приводит к заметному снижению напряжений. Более легированная марганцево-кремнистая сталь 09Г2С оказывается и более релаксационно-стойкой, что согласуется с выводами, сделанными в работе [1]. На основании результатов исследований можно определить остаточные напряжения после термообработки в интервале 300—700 °С. Для этого следует воспользоваться графиками, приведенными на рис. 3.

### **Список литературы:**

1. Борздыка А.М., Гецов Л.Б. Релаксация напряжений в металлах и сплавах. М.: Металлургия, 1978. — 256 с.
2. Винокуров В.А. Отпуск сварных конструкций для снятия остаточных напряжений. М.: Машиностроение, 1973. — 213 с.
3. Механизмы релаксации в твердых телах. Каунас: Каунасский политехнический институт, 1974 — 364 с.

## **ФОСФАТЫ СЕМЕЙСТВА ЛАНГБЕЙНИТА, СОДЕРЖАЩИЕ ИМИТАТОРЫ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ (SR, SM). СИНТЕЗ, ИЗОМОРФИЗМ, ПОВЕДЕНИЕ ПРИ НАГРЕВАНИИ**

*Канунов Антон Евгеньевич*

*канд. хим. наук, научный сотрудник,  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
РФ, г. Нижний Новгород  
E-mail: [a.kanunov@mail.ru](mailto:a.kanunov@mail.ru)*

## PHOSPHATES OF LANGBEINITE STRUCTURAL FAMILY, CONTAINING OF IMITATORS OF RADIOACTIVE WASTE (SR, SM). SYNTHESIS, ISOMORPHISM, BEHAVIOR UPON HEATING

*Anton Kanunov*

*candidate of Science, Scientist,  
Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod,  
Russia, Nizhni Novgorod*

### АННОТАЦИЯ

Фосфаты  $K_{2-x}Sr_xMg_{0.5(1+x)}M_{0.5(3-x)}(PO_4)_3$  и  $K_{2-x}Sm_xMg_{0.5+x}M_{1.5-x}(PO_4)_3$ ,  $M = Ti, Zr$ ;  $x = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1$  структурного семейства лангбейнита получены золь-гель методом и изучены методом высокотемпературной рентгенографии. Установлены границы изоморфной смеси и определены коэффициенты теплового расширения фосфатов.

### ABSTRACT

Phosphates  $K_{2-x}Sr_xMg_{0.5(1+x)}M_{0.5(3-x)}(PO_4)_3$  and  $K_{2-x}Sm_xMg_{0.5+x}M_{1.5-x}(PO_4)_3$ ,  $M = Ti, Zr$ ;  $x = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1$  of the Langbeinite structural family have been synthesized by sol-gel method and investigated by high-temperature X-ray diffraction. Boundaries of phase stability of phosphates are established. The coefficients of thermal expansion are calculated.

**Ключевые слова:** лангбейнит; фосфаты; стронций; самарий; тепловое расширение.

**Keywords:** langbeinite; phosphates; strontium; samarium; thermal expansion.

### Введение

Фосфаты структурного семейства лангбейнита (базовый аналог  $K_2Mg_2(SO_4)_3$ , куб. синг., пр. гр.  $P2_13$ ,  $a = 9.920(4) \text{ \AA}$ ,  $V = 976.2 \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 4$ ) и техническая керамика на их основе рассматриваются как перспективные материалы для долговременного хранения радиоактивных отходов (РАО), обладающие высокой устойчивостью к действию химических сред и радиации [2]. Образование большого семейства изоструктурных аналогов лангбейнита возможно благодаря реализации изоморфных замещений с участием элементов с широкими вариациями зарядов и радиусов их ионов.

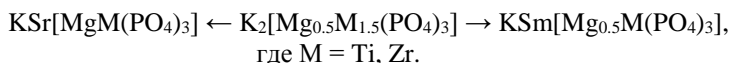
Кристаллическая структура лангбейнитоподобных фосфатов образована тетрадро-октаэдрическими каркасами  $[L_2(XO_4)_3]^{n-}$  ( $L, X$  — катионы с октаэдрическим и тетраэдрическим кислородным окруже-

нием, соответственно;  $n$  — заряд каркаса). Каркасы содержат полости — в каждой по две позиции ( $M_1$ ,  $M_2$ ). На основании структурных данных, кристаллохимическая формула лангбейнитоподобных соединений может быть представлена в виде  $(M_1)^{[12]}(M_2)^{[9]}[(L_1)^{[6]}(L_2)^{[6]}(X^{[4]}O_4)_3]$ .

Из литературы известно, что катионы лантаноидов могут размещаться как в каркасе, так и в некаркасных позициях структуры лангбейнита [2], однако на данный момент исследовано ограниченное число таких систем в узком интервале составов.

На основании имеющихся кристаллохимических данных, в том числе по изоморфизму, можно предполагать реальность создания керамических монофазных материалов, содержащих сложные катионные композиции отходов. Следует отметить, что успех применения таких матриц зависит от свойств, определяющих безопасность при длительном хранении компонентов РАО, и среди них, прежде всего, оценка устойчивости под действием температуры.

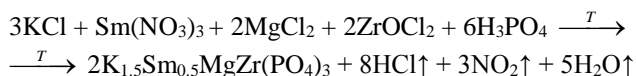
Цель настоящей работы заключалась в получении фосфатов со структурой лангбейнита, содержащих Sr и Sm в качестве имитаторов РАО, исследовании границ изоморфной смесимости при реализации гетеровалентных замещений в соответствии со схемой:



Кроме этого предстояло изучить поведение при нагревании полученных монофазных продуктов.

#### Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись фосфаты, формирующие ряды изотипных аналогов  $K_{2-x}Sr_xMg_{0.5(1+x)}M_{0.5(3-x)}(PO_4)_3$  и  $K_{2-x}Sm_xMg_{0.5+x}M_{1.5-x}(PO_4)_3$ , где  $M = Ti, Zr$ ;  $x = 0; 0.25, 0.5, 0.75; 1$ . Фосфаты получены золь-гель методом с использованием этанола в качестве высаливателя. (Исходные реагенты: 1М водные растворы KCl,  $Sr(NO_3)_2$ ,  $Sm(NO_3)_3$ ,  $ZrOCl_2$ ,  $TiOCl_2$ ,  $H_3PO_4$ .) На начальном этапе к смеси солей металлов, добавляли ортофосфорную кислоту и этанол при  $T$  20°C и постоянном перемешивании. Полученный гель выдерживали при  $T$  90°C с целью дегидратации, затем сухой остаток подвергали поэтапному изотермическому нагреву при  $T$  600, 800 и 900°C по 24 ч на каждой стадии нагрева. Пример протекающей реакции представлен ниже.



Характеризацию фаз проводили методами дифференциального термического анализа (ДТА), рентгенофазового анализа (РФА) и высокотемпературной рентгенографии. Использовали приборы: термоанализатор Setaram LabSys TG-DTA/DSC, рентгеновский дифрактометр Shimadzu LabX XRD-6000 ( $\text{CuK}\alpha$  фильтрованное излучение,  $\lambda = 1.54178 \text{ \AA}$ ) с высокотемпературной приставкой НА-1001 (диапазон  $T$  20–800°C, шаг сканирования 0.02°, интервал  $2\theta$  10–50°).

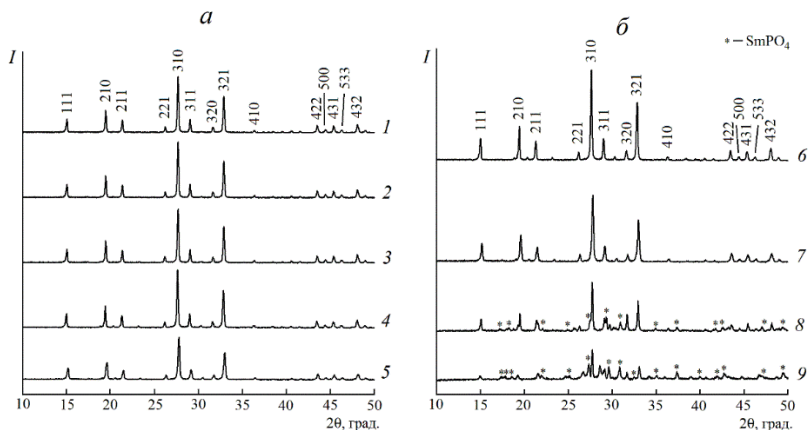
### Результаты и их обсуждение

Полученные образцы представляли собой мелкокристаллические порошки белого цвета.

Методом ДТА на примере фосфата  $\text{K}_{1.5}\text{Sm}_{0.5}\text{MgZr}(\text{PO}_4)_3$  установлено, что в интервале  $T$  20–1200°C имеют место необратимые процессы, сопровождающиеся тепловыми эффектами: 1) эндоэффекты,  $T$  92–175°, 245–260° (удаление кристаллизованной воды, этанола, газообразных продуктов); 2) экзоэффект,  $T$  685–750° (химическое взаимодействие); 3) эндоэффект,  $T$  1095–1116°C (термораспад). Данные ДТА находились в согласии с результатами РФА образцов в процессе постадийного нагревания.

Фазовый состав полученных фосфатов исследовали методом РФА. Индицирование рентгенограмм осуществляли при сопоставлении с известными аналогами  $\text{K}_2\text{Ti}_2(\text{PO}_4)_3$  [4] и  $\text{K}_2\text{YZr}(\text{PO}_4)_3$  [6], куб. синг., пр. гр.  $P2_13$ . Методом РФА установлено, что образование монофазных продуктов со структурой лангбейнита (при данном способе и условиях синтеза) ограничено следующими составами:  $\text{K}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Mg}_{0.5(1+x)}\text{Ti}_{0.5(3-x)}(\text{PO}_4)_3$ ,  $0 \leq x \leq 0.75$ ;  $\text{K}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Mg}_{0.5(1+x)}\text{Zr}_{0.5(3-x)}(\text{PO}_4)_3$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ;  $\text{K}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Mg}_{0.5+x}\text{Ti}_{1.5-x}(\text{PO}_4)_3$ ,  $0 \leq x \leq 0.5$ ;  $\text{K}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Mg}_{0.5+x}\text{Zr}_{1.5-x}(\text{PO}_4)_3$ ,  $0 \leq x \leq 0.5$ . Остальные образцы помимо целевой фазы содержали примесные фазы  $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2$  (тригон. синг., пр. гр.  $R\bar{3}m$ ) или  $\text{SmPO}_4$  (монокл. синг., пр. гр.  $P2_1/n$ ), что было подтверждено в повторных экспериментах (рисунок 1, данные РФА для рядов с цирконием в качестве примера). Ограниченная область существования твердых растворов обусловлена, по-видимому, разницей в ионных радиусах каркасообразующих катионов ( $r_{\text{Ti}^{4+}} = 0.61 \text{ \AA}$ ,  $r_{\text{Zr}^{4+}} = 0.72 \text{ \AA}$ , КЧ 6), которые могут в разной степени «расталкивать» плотнейшую упаковку анионов  $\text{O}^{2-}$  и тем самым влиять на размер полостей, в которых располагаются более крупные катионы ( $r_{\text{K}^+} = 1.64 \text{ \AA}$ ,  $r_{\text{Sr}^{2+}} = 1.44 \text{ \AA}$ ,  $r_{\text{Sm}^{3+}} = 1.24 \text{ \AA}$ , КЧ 12).





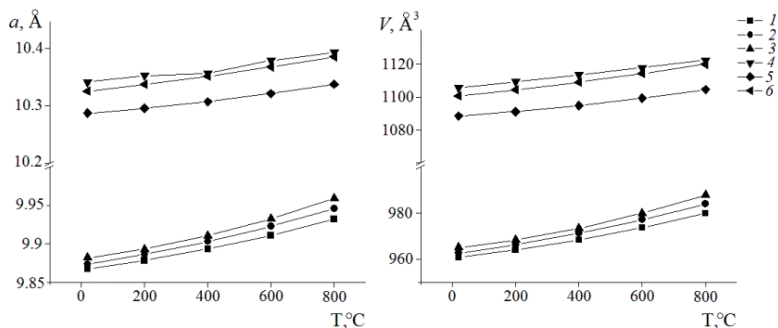
**Рисунок 1. Данные РФА. Фосфаты рядов**

$K_{2-x}Sr_xMg_{0.5(1+x)}Zr_{0.5(3-x)}(PO_4)_3$ ,  $x = (1), 0.25 (2), 0.5 (3), 0.75 (4), 1 (5)$ ;

$K_{2-x}Sm_xMg_{0.5+x}Zr_{1.5-x}(PO_4)_3$ ,  $x = 0.25 (6), 0.5 (7), 0.75 (8), 1 (9)$

Синтезированные фосфаты не претерпевали химических и фазовых превращений при нагревании до 1100°C (по данным ДТА и РФА). Продолжительность термостатирования составляла 24 ч. Однако, самарийсодержащие фосфаты при  $T > 1100^\circ C$  претерпевали термораспад с образованием фаз  $KZr_2(PO_4)_3$  (тригон. синг., пр. гр.  $R\bar{3}c$ ),  $SmPO_4$  (монокл. синг., пр. гр.  $P2_1/n$ ),  $KMgPO_4$  (монокл. синг., пр. гр.  $P2_1/c$ ).

Фосфаты  $K_2Mg_{0.5}Ti_{1.5}(PO_4)_3$ ,  $K_{1.5}Sr_{0.5}Mg_{0.75}Ti_{1.25}(PO_4)_3$ ,  $K_{1.5}Sm_{0.5}MgTi(PO_4)_3$ ,  $K_2Mg_{0.5}Zr_{1.5}(PO_4)_3$ ,  $K_{1.5}Sr_{0.5}Mg_{0.75}Ti_{1.25}(PO_4)_3$ ,  $K_{1.5}Sm_{0.5}MgZr(PO_4)_3$ , предварительно термостатированные при  $T$  900 °C, исследовали методом высокотемпературной рентгенографии. С ростом температуры наблюдали линейное увеличение параметров элементарной ячейки  $a$  и  $V$  (рисунок 2). На основании полученных данных были рассчитаны коэффициенты теплового расширения фосфатов, при этом температурные зависимости параметров элементарных ячеек описаны квадратичными полиномами (таблица 1) с использованием программы DTC (version 1.0.0.0) [1].



**Рисунок 2. Зависимости параметров элементарных ячеек  $a$  и  $V$  от температуры. Фосфаты  $K_2Mg_{0.5}Ti_{1.5}(PO_4)_3$  (1),  $K_{1.5}Sr_{0.5}Mg_{0.75}Ti_{1.25}(PO_4)_3$  (2),  $K_{1.5}Sm_{0.5}MgTi(PO_4)_3$  (3),  $K_2Mg_{0.5}Zr_{1.5}(PO_4)_3$  (4),  $K_{1.5}Sr_{0.5}Mg_{0.75}Ti_{1.25}(PO_4)_3$  (5),  $K_{1.5}Sm_{0.5}MgZr(PO_4)_3$  (6)**

**Таблица 1.**

**Полиномы температурных зависимостей и средние осевые и объемные КТР ( $\times 10^{-6}$ ,  $^{\circ}C^{-1}$ ) фосфатов в интервале  $T$  20–800  $^{\circ}C$**

Фосфат	$a = f(T), \text{ \AA}$	$\alpha_a$	$\alpha_V$
$K_2Mg_{0.5}Ti_{1.5}(PO_4)_3$	$a = 4 \cdot 10^{-8}T^2 + 5 \cdot 10^{-5}T + 9.8667$	8.3	25.1
$K_{1.5}Sr_{0.5}Mg_{0.75}Ti_{1.25}(PO_4)_3$	$a = 4 \cdot 10^{-8}T^2 + 6 \cdot 10^{-5}T + 9.8725$	9.4	28.1
$K_{1.5}Sm_{0.5}MgTi(PO_4)_3$	$a = 6 \cdot 10^{-8}T^2 + 5 \cdot 10^{-5}T + 9.8808$	10.0	30.0
$K_2Mg_{0.5}Zr_{1.5}(PO_4)_3$	$a = 7 \cdot 10^{-9}T^2 + 6 \cdot 10^{-5}T + 10.3400$	6.3	19.0
$K_{1.5}Sr_{0.5}Mg_{0.75}Zr_{1.25}(PO_4)_3$	$a = 3 \cdot 10^{-8}T^2 + 4 \cdot 10^{-5}T + 10.2860$	6.3	18.8
$K_{1.5}Sm_{0.5}MgZr(PO_4)_3$	$a = 2 \cdot 10^{-8}T^2 + 6 \cdot 10^{-5}T + 10.3240$	7.4	22.1

Разница в значениях КТР для Ti- и Zr-содержащих фосфатов, как и в случае с различными границами изоморфной смесимости, также может быть обусловлена геометрическим фактором. Из таблицы 1 очевидно, что сильно «сжатый» Ti-содержащий каркас имеет больше возможности расширяться при нагревании, чем каркас, образованный цирконием.

Следует отметить сравнительно небольшие значения осевых и объемных КТР, сопоставимые с аналогичными значениями для известных соединений со структурой лангбейнита и другими структурами: лангбейнит  $Cs_2Mg_{0.5}Zr_{1.5}(PO_4)_3$ ,  $\alpha = 5.3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}C^{-1}$  ( $T$  25–600 $^{\circ}C$ ) [2]; NZP, коснарит  $KZr_2(PO_4)_3$ ,  $\alpha_a = -5.3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}C^{-1}$ ,  $\alpha_c = 5.41 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}C^{-1}$ ,  $KTi_2(PO_4)_3$   $\alpha_a = -5.3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}C^{-1}$ ,  $\alpha_c = 20.8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}C^{-1}$ , ( $T$  25–1000 $^{\circ}C$ ) [3]; Synroc-B  $\alpha \approx (10.0-10.4) \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}C^{-1}$  (20–1060 $^{\circ}C$ ) [5].

В целом, по своему поведению при нагревании изученные вещества относятся к классу малорасширяющихся. Следовательно, керамические материалы на их основе должны обладать высокой устойчивостью к микрорастрескиванию в поле высоких температурных градиентов.

### Список литературы:

1. Белоусов Р.И., Филатов С.К. Алгоритм расчета тензора и построение фигур коэффициентов теплового расширения в кристаллах // Физика и химия стекла. — 2007. — Т. 33. — № 3. — С. 377—382.
2. Орлова А.И., Корытцева А.К., Логинова Е.Е. Семейство фосфатов со структурой лангбейнита. Кристаллохимический аспект иммобилизации радиоактивных отходов // Радиохимия. — 2011. — Т. 53. — № 1. — С. 48—57.
3. Петьков В.И., Орлова А.И. Кристаллохимический подход к прогнозированию теплового расширения соединений со структурой фосфата натрия-дициркония // Неорган. матер. — 2003. — Т. 39. — № 10. — С. 1177—1188.
4. Leclaire A., Benmoussa A., Borel M.M., Grandin A., Raveau B.  $K_{2-x}Ti_2(PO_4)_3$  with  $0 \leq x \leq 0.5$ : A Mixed-Valence Nonstoichiometric Titanophosphate with the Langbeinite Structure // J. Solid State Chem. — 1989. — V. 78. — P. 227—231.
5. Sabine T.M., Hewat A.W. The structure of the hollandite type phase of Synroc B in the temperature range 20—1060 °C // J. Nucl. Mater. — 1982. — V. 110. — P. 173—177.
6. Wulf H., Guth U., Loescher B. The crystal structure of  $K_2REZr(PO_4)_3$  (RE = Y, Gd) isotypic with Langbeinite // Powder Diffract. — 1992. — V. 7. — P. 103—106.

## СЕКЦИЯ 4.

### ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

#### ИЗУЧЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ РАСТВОРОВ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩИХ ПОЛИМЕРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМ ВЕЩЕСТВОМ

*Куринова Мария Алексеевна*

*аспирант 2 курса, кафедра ТХВиН МГУДТ,  
РФ, г. Москва  
E-mail: [kma240190@mail.ru](mailto:kma240190@mail.ru)*

*Гальбрайх Леонид Семенович*

*проф., д-р хим. наук, зав. каф ТХВиН МГУДТ,  
РФ, г. Москва*

*Скибина Дарья Эдуардовна*

*магистрант 2 курса, кафедра ТХВиН МГУДТ,  
РФ, г. Москва*

## STUDY OF RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND SOLUTIONS MOLDING PROCESS OF FIBER-FORMING POLYMER MODIFIED BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

**Maria Kurinova**

*aspirant 2 grade, department of TXViN MGUDT,  
Russia, Moscow*

**Leonid Galbraich**

*professor, head of department TXViN, MGUDT,  
Russia, Moscow*

**Daria Scibina**

*magistr 2 grade, department of TXViN MGUDT,  
Russia, Moscow*

### АННОТАЦИЯ

Исследованы реологические характеристики растворов триацетата целлюлозы (ТАЦ), содержащих биологически активное вещество (БАВ). Показано, что введение раствора БАВ в этиловом спирте снижает вязкость исходного раствора. Определены оптимальные составы формовочных растворов ТАЦ с БАВ для процесса электроформования.

### ABSTRACT

The rheological characteristics of the solutions of cellulose triacetate (TAC), which contain a biologically active substance (BAS). It demonstrated that the introduction of the solution of biologically active substances in ethyl alcohol reduces the viscosity of the original solution. The optimum compositions forming solutions from TAC BAS electrospinning process.

**Ключевые слова:** триацетат целлюлозы; биологически активное вещество; пленочные материалы; реология; электроформование; нановолокнистые материалы.

**Keywords:** cellulose triacetate; biologically active substance; polymer membranes; rheology; electrospinning; nanofibers material.

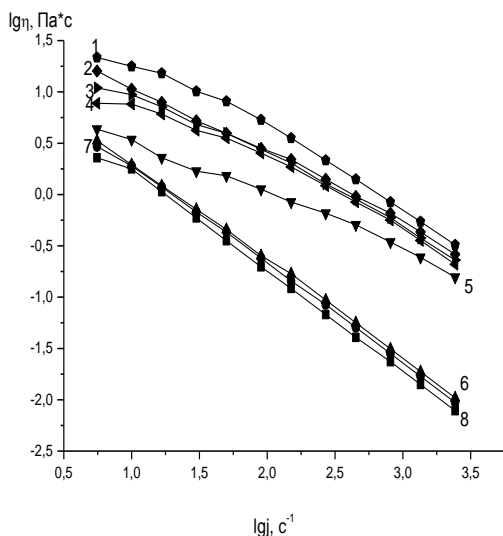
К волокнистым и пленочным материалам медико-биологического назначения предъявляется ряд требований, реализация которых требует проведения серьезных научных исследований [1; 2]. Значительное внимание в этой области привлекают природные биодегради-

руемые и биосовместимые полимеры. Их применение позволяет получить путём формования из растворов волокнистые и пленочные материалы, в том числе содержащие биологически активные вещества. БАВ, применяемые для модифицирования химических волокон, представлены соединениями, относящимися к самым различным классам. Многочисленные публикации показывают, что исследуемый в настоящей работе БАВ — растительный стероид (пентациклическое тритерпеновое вещество лупанового ряда), обладает противовоспалительным, антиоксидантным, противовирусным, противомикотическим, антисептическим и противоопухолевым действием [1; 3; 4].

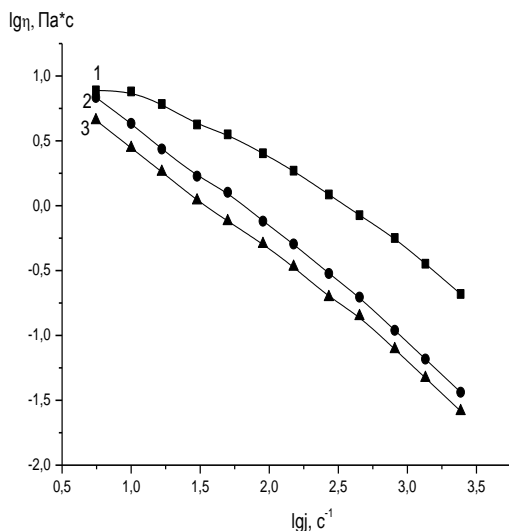
### Экспериментальная часть

Поскольку вязкость растворов полимеров определяется природой полимера, размерами и формой макромолекулы, термодинамическим качеством растворителя, необходимо было определить влияние состава формовочных растворов на изменение их реологических характеристик.

С этой целью были исследованы концентрационные зависимости вязкости растворов ТАЦ в уксусной кислоте, а также их смесей с БАВ.



**Рисунок 1. Кривые течения растворов ТАЦ в уксусной кислоте. Концентрация полимера 0,5 (1), 1 (2), 1,5 (3), 2 (4), 3 (5), 4 (6), 5 (7), и 6 % (8) Температура 25±0,1 °С**



**Рисунок 2. Реологические кривые растворов ТАЦ и его смесей с БАВ. 1 — раствор ТАЦ; 2, 3 — растворы ТАЦ, содержащие БАВ. Содержание в растворе: 1 — 3 % ТАЦ, 2 — 3% ТАЦ, 0,3 % БАВ, 3 — 3 % ТАЦ, 0,75 % БАВ**

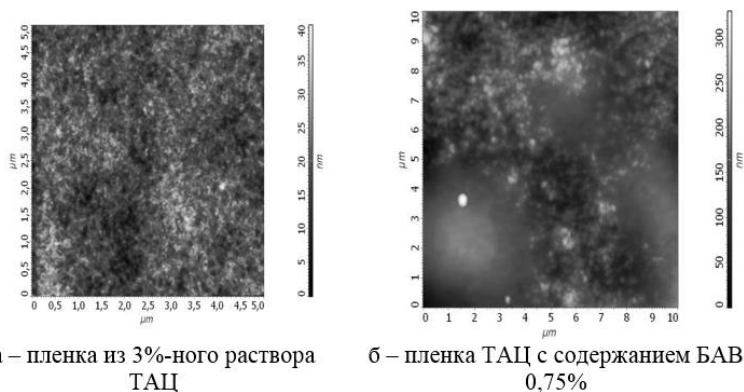
Введение раствора БАВ в этиловом спирте в раствор ТАЦ в УК приводит к снижению вязкости и степени структурированности растворов и уменьшает выраженную зависимость вязкости от градиента скорости сдвига.

Учитывая поставленную в работе цель, представляло интерес исследовать возможность формирования пленочных мембран из растворов ТАЦ и его смесей с БАВом. Формование пленок проводили «сухим» способом путем испарения растворителя из тонкого слоя 3 %-ного раствора ТАЦ, содержащего 0,75 % БАВ.

При исследовании методом атомно-силовой микроскопии структуры, формирующейся при испарении растворителя с поверхности раствора, была установлена зависимость структуры поверхности пленок от состава раствора: увеличение содержания БАВ приводит к формированию более крупных элементов структуры (рисунок 4).

К многотоннажным полимерам, перерабатываемым в текстильные волокна и волокнистые материалы формированием из растворов,

в том числе и методом электроформования, относятся сополимеры акрилонитрила различного состава.

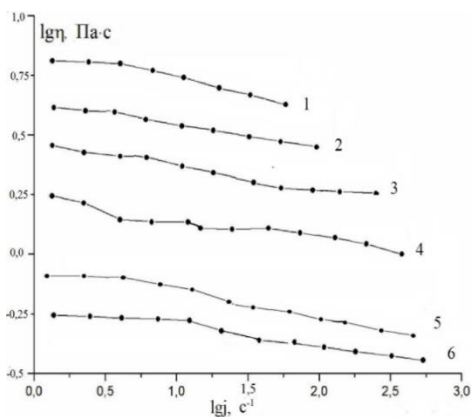


а – пленка из 3%-ного раствора  
ТАЦ

б – пленка ТАЦ с содержанием БАВ  
0,75%

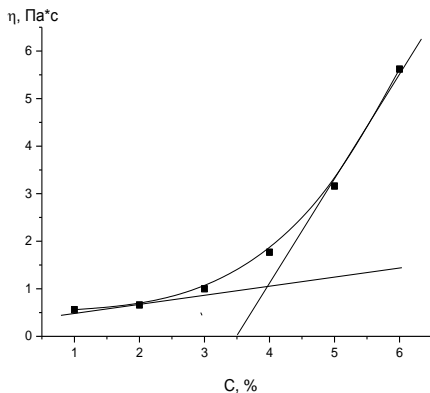
**Рисунок 3. Зависимость структуры поверхности пленок от состава раствора**

Так как в процессе ЭФ используются менее вязкие формовочные растворы, чем в классических процессах формования из растворов полимеров, это обусловило выбор варьирования концентрации полиакрилонитрила в апротонном растворителе — диметилсульфоксиде (ДМСО) в диапазоне 1—6 %.



**Рисунок 4. Реологические кривые растворов ПАН в ДМСО**  
Концентрация полимера: 6 % (1), 5 % (2), 4 % (3), 3 % (4), 2 % (5),  
1 % (6); Темп-ра: 25±1°С



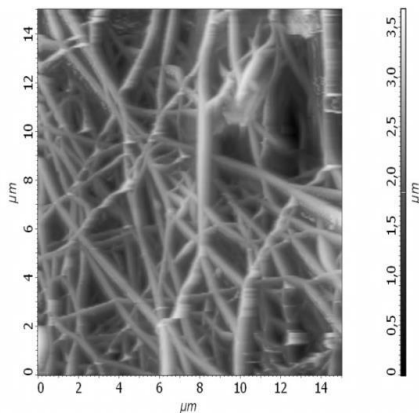


**Рисунок 5. Концентрационная зависимость начальной вязкости растворов ПАН в ДМСО**

Согласно данным, полученным при определении концентрации кроссовера, наиболее благоприятная для формирования концентрация находится на уровне 4 %, что справедливо для коагуляционного формирования, но может отличаться от условий, обеспечивающих стабильное электроформование.

На основании рассмотрения информации об электроформовании волокон из целлюлозы и ее ацетатов авторы обзорной статьи [6] делают вывод о целесообразности применения этого метода для получения субмикроволокнистых материалов.

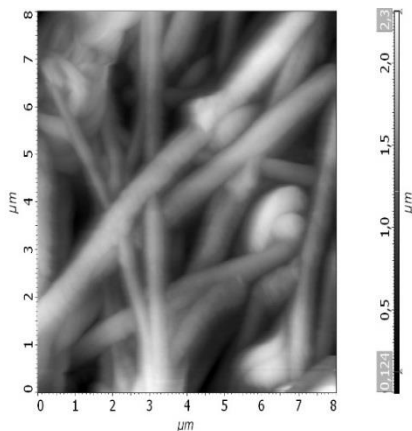
При предварительной оценке возможности формирования нано-волоконистого материала на установке Nanospider NS Lab 200S было показано, что растворы ТАЦ в УК не обладают волокнообразующими свойствами в условиях электроформования. В то же время, при формировании растворов ТАЦ, содержащих 0,3—0,75 % БАВ, напряжение 26,6—32,6 кВ обеспечивало устойчивое струеобразование и последующее отверждение образующихся нитей диаметром 70—350 нм (рисунок 7).



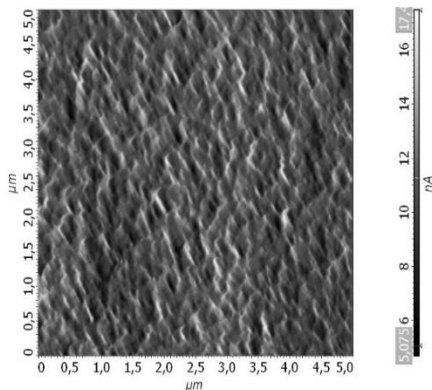
**Рисунок 7. Микрофотография нановолокнистого триацетатцеллюлозного материала, содержащего 0,75 % БАВ**

Электроформование позволяет получить не только БАВ-содержащие ацетилцеллюлозные волокна. Устойчивое электроформование с образованием нановолокнистых материалов имеет место при использовании композиций на основе карбоцепных полимеров, содержащих БАВ, — раствора ПАН в ДМСО с содержанием БАВ 0,5 %.

Микрофотографии распределения волокон из растворов в ПАН приведены на рисунках 8, 9.



**Рисунок 8. Микрофотография ПАН волокна, содержащего 0,5 % БАВ**



**Рисунок 9. Микрофотография волокон из ПАН, содержащего 5 % БАВ**

Параметры процесса электроформования приведены в таблице 2

**Таблица 2.**

**Параметры процесса ЭФ растворов, содержащих БАВ**

№	Волокнообразующий полимер	Содержание БАВ, %	Напряжение, кВ	Расстояние между формовочными электродами, мм
1	ТАЦ	0,3	26,6—32,6	110
2	ТАЦ	0,75	26,6	110
3	ПАН	0,5	22,4—32,6	120
4	ПАН	5	18,6	120
5	ПВС	0,5	21,4—29,8	120
6	ПВС	5	24,5	118

**Список литературы:**

1. Афиногенов Г.Е., Панарин Е.Ф. Антимикробные полимеры. — СПб.: Гиппократ, 1993. — 261 с.
2. Коршак В.В., Штильман М.И. Полимеры в процессах иммобилизации и модификации природных соединений. — М.: Наука, 1984. — 261 с.
3. Марычев С.Н., Калинин Б.А. Полимеры в медицине. Учеб. Пособие. — Владимир: Владимир. гос. ун-т., 2001. — 68 с.
4. Платэ Н.А., Васильев А.Е. Физиологически активные полимеры. — М.: Химия, 1986. — 296 с.
5. Штильман М.И. Полимеры медико-биологического назначения. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. — 400 с.
6. Margaret W. Electrospinning Cellulose and Cellulose Derivatives// Polymer Rewievus. — 2008. — V. 48. — Issue 2. — P. 378—391.

## СЕКЦИЯ 5.

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

#### АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ МУКИ ДЛЯ ПИТАНИЯ ЛЮДЕЙ БОЛЬНЫХ ЦЕЛИАКИЕЙ

**Крюкова Екатерина Владимировна**

*доцент, Уральский государственный экономический университет*  
РФ, г. Екатеринбург,  
E-mail: [katepat@mail.ru](mailto:katepat@mail.ru)

**Чугунова Ольга Викторовна**

*профессор, д-р техн. наук,*  
*Уральский государственный экономический университет,*  
РФ, г. Екатеринбург

**Мысаков Денис Сергеевич**

*ассистент, Уральский государственный экономический университет,*  
РФ, г. Екатеринбург

#### OPPORTUNITY ANALYSIS OF USING ALTERNATIVE TYPES OF FLOUR FOR PEOPLE'S NUTRITION WITH GLUTEN-SENSITIVE ENTEROPATHY

**Ekaterina Kryukova**

*associate Professor, Ural State University of Economics,*  
*Russia, Ekaterinburg*

**Olga Chugunova**

*professor, Doctor of Technical Sciences, Ural State University of Economics,*  
*Russia, Ekaterinburg*

**Denis Mysakov**

*assistant, Ural State University of Economics,*  
*Russia, Ekaterinburg*

## АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрена проблема питания людей больных целиакией. Дана подробная характеристика глютена, содержащегося в зерновых продуктах. Проведен анализ специализированных безглютеновых продуктов импортного и отечественного производства. Изучен ассортимент специализированных безглютеновых продуктов импортного и отечественного производства. Изучена биологическая ценность нетрадиционных видов муки. Показана возможность использования нетрадиционных видов муки, таких как полбяная, в питании людей больных целиакией.

## ABSTRACT

In the article, the problem of people's nutrition with gluten-sensitive enteropathy is considered. The detailed characteristics of gluten contained in cereal products is given. The analysis of specific gluten-free products imported and domestically produced is presented. Assortment of specific gluten-free products imported and domestically produced is studied. The biological value of non-traditional types of flour is analyzed. The possibility of using non-traditional types of flour such as polbyanaya in the diet of people with gluten-sensitive enteropathy is shown.

**Ключевые слова:** глютен; целиакия; пшеница; альтернативные виды муки; полбяная мука.

**Keywords:** gluten; gluten-sensitive enteropathy; corn; alternative types of flour; polbyanaya flour.

Питание рассматривается государством как важный фактор внешней среды, который определяет правильное развитие, состояние здоровья, работоспособность, активность и продолжительность жизни человека. Высокая частота заболеваемости и низкая продолжительность жизни прямо или косвенно связаны с некачественным питанием.

Приоритетными задачами современного этапа развития российской экономики и общества является продовольственная безопасность РФ и обеспечение населения продуктами питания. насыщение продовольственного рынка конкурентоспособной продукцией отечественного производства, увеличение доли новых, обогащенных, функциональных и диетических продуктов для формирования здорового питания входит в число приоритетных векторов реализации государственной политики в области здорового питания населения на период до 2020 года. Особое внимание уделяется производству пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям качества и безопасности, а также технологий

производства продуктов функционального (лечебного и профилактического) назначения [4].

В последнее время отмечается тенденция улучшения состояния питания отдельных групп населения, в частности, благодаря разработкам новых видов специализированных продуктов. Среди продуктов функционального назначения, можно выделить предназначенные для людей, не переносящих белок эндосперма зерна злаковых культур — глютен [3].

Глютен (клейковина) — это особый вид белка, содержащийся во многих видах злаковых и, соответственно, в хлебобулочных и сдобных мучных кондитерских изделиях, которые из них вырабатываются. Наибольшее количество глютена содержат ячмень, пшеница, рожь. Однако не все зерновые содержат глютен: его нет в диком рисе, гречихе, овсе, пшене, кукурузе, а также — в подсолнечнике, сое, амаранте.

Возможно удаление большей части глютена из пшеничной муки, но не полное. Получить маркировку “gluten-free” («не содержит глютен») могут продукты, в которых клейковина удалена лишь частично. Остаток глютена в продукте измеряется в ppm (parts per million, частей на миллион). В разных странах этот показатель в продуктах “gluten-free” варьируется от 5 до 200, иногда до 1000.

Глютен придает хлебобулочным и сдобным мучным кондитерским изделиям пористую структуру и делает их эластичными, создавая ту самую текстуру, которую мы ощущаем во время еды. Поэтому из муки, освобожденной от большей части глютена, данные изделия получаются плоскими и тяжелыми. Одновременно установлено, что глютен удерживает газы, которые выделяются в тесте во время брожения и за счет которых хлебобулочные и мучные сдобные изделия увеличиваются в объеме в несколько раз [1].

Кроме того, глютен становится плотнее во время нагревания, в результате чего изделия сохраняют форму при запекании. Этот белок также имеет абсорбирующие свойства, способен впитывать жидкость, в частности, молоко и бульон. Эта его особенность используется при приготовлении множества блюд. С другой стороны, клейковина частично ответственна за то, что хлебобулочные и мучные кондитерские изделия черствеют.

Вопросы диетического питания приобретают в настоящее время все большую актуальность, учитывая рост генетических и аллергических заболеваний. Одними из таких заболеваний, требующих коррекции питания, являются целиакия и поливалентная пищевая аллергия. Больные целиакией не в состоянии усваивать клейковину

и вынуждены всю жизнь пребывать на безглютеновой диете. Даже малейшие нарушения питания могут привести к тяжелым последствиям. Им нужны только продукты без глютена [2]. Распространенность целиакии существенно отличается в разных странах и в среднем составляет 0,5—1,0 % от общего числа населения планеты.

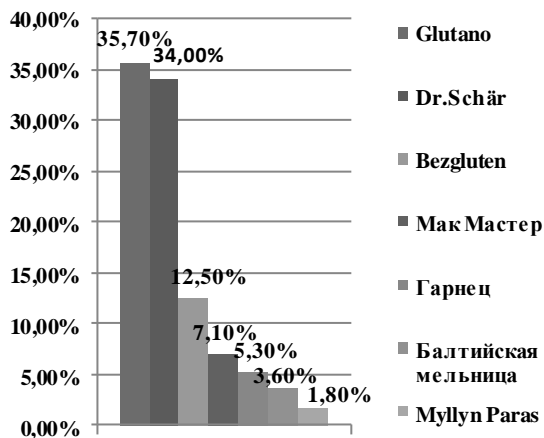
Безглютеновая диета предусматривает использование риса, гречихи, кукурузы, картофельной муки, сои, различных овощей (картофель, морковь, капуста, кабачок, тыква и другие), фруктов (яблоки, груши, бананы), фруктовых соков, различных сортов мяса и птицы, нежирных сортов рыбы, растительных масел, мёда, варенья, джемов. Имеются специальные безглютеновые диеты, которые по своему составу являются физиологическими, имеют некоторое повышенное содержание белка и кальция. Большое значение имеет применение смесей, обогащенных лизоцимом, цинком, секреторными иммуноглобулинами.

Людам с нарушенным микробиоценозом кишечника целесообразно пользоваться молочнокислыми препаратами, обогащенными биодобавками, для детей старшего возраста и взрослых выпускаются безглютеновые продукты, имитирующие хлеб, муку и полуфабрикаты для выпечки, печенье, макаронные изделия и другие. Специализированные безглютеновые продукты обычно имеют надписи “gluten-free” и/или маркировку в виде символа «перечеркнутый колосок».

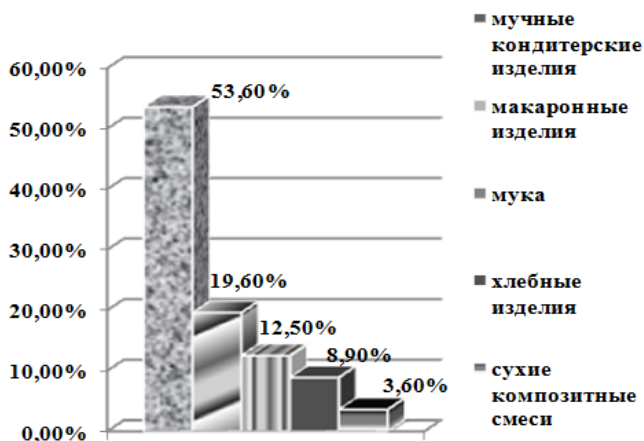
Основные производители продуктов, не содержащих глютен, представленных на рынке России, и г. Екатеринбург в том числе, являются зарубежные производители: Glutano (Германия), Dr. Schär (Италия). На рисунке 1 показано соотношение долей производителей безглютеновых продуктов в общем объеме ассортимента безглютеновых продуктов представленных на рынке г. Екатеринбург.

Ассортимент безглютеновых продуктов производства иностранных производителей очень широк и включает в себя хлеб, муку специальную в виде смесей для приготовления хлеба в домашних условиях, мюсли, макаронные изделия, а также сладости — от шоколадных батончиков до рожков для мороженого. Многие из представленных продуктов не содержат не только глютен, но и молочный белок — казеин. Все эти продукты полностью заменяют привычные изделия из муки, входящие в рацион здорового человека и предназначены для специального питания людей с непереносимостью глютена, поливалентной пищевой аллергией и др. (рисунок 2) [5]. В настоящее время на российском рынке стали появляться отечественные продукты для больных целиакией. Наиболее широко представлен ассортимент второстепенных видов муки таких

производителей как ООО «Гарнец» и ООО «Балтийская мельница». Однако, как показывает анализ ассортимента, несмотря на появление на Российском рынке новых видов специализированных продуктов, ассортимент их остаётся пока ограниченным.



**Рисунок 1. Соотношение долей производителей безглютеновых продуктов в общем объеме ассортимента (на примере г. Екатеринбург), %**



**Рисунок 2. Структура ассортимента мучных безглютеновых продуктов**



Изучен аминокислотный состав белка нетрадиционных видов муки: гречневой, кукурузной, рисовой и полбяной муки, представленный в таблице 1.

Аминокислотный состав суммарных белков нетрадиционных видов муки определяется аминокислотным составом отдельных фракций, в основу классификации которых положен принцип растворимости.

Хотя достаточно видов зерновых содержат глютен, только один из подтипов этого белка обычно является причиной болезни — глиадин. Он присутствует почти исключительно в пшеничной, ячменной и ржаной муке.

*Таблица 1.*

**Содержание и состав аминокислот различных видов муки**

Название аминокислот	Рисовая мука	Полбяная мука	Кукурузная мука	Гречневая мука
	мг на 100 г	мг на 100 г	мг на 100 г	мг на 100 г
Незаменимые аминокислоты	3252	2766	2916	4499
Заменимые аминокислоты	6878	9625	5252	9852
Общая сумма	10130	12391	8168	14351

Перспективным сырьем может служить полбяная мука, полученная из зерна полбы Волжская, так как в ее белках снижена фракция проламинов, а соответственно и глиадин.

Проведенные нами сравнительные исследования фракционного состава пшеничной и полбяной муки (таблица 2) показали, что в муке из зерна полбы установлено пониженное содержание спирторастворимой фракции глиадина (21,67—28,74 %), содержание которого в пшеничной муке составляет 38,38—45,21 % [2].

Установлено, что содержащийся в полбяной муке глютен, отличается по своей структуре от глютена пшеничной муки и воздействует на организм иначе. Проведенные в США исследования выявили, что клейковина полбяной муки в половине случаев не вызывала аллергию у тех, кто страдал непереносимостью глютена обычной пшеницы. Также не исключено, что из-за большей растворимости муки из полбы белок легче усваивается, чем белок пшеничной муки [6].

Таблица 2.

**Фракционный состав белка клейковины пшеничной и полбяной муки, n=5**

Сырье	Доля фракций белка, % от белкового азота			
	альбумины	глобулины	проламины	глютелины
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта	7,75±0,55	36,61±0,70	38,38±0,75	17,26±0,45
Мука из зерна полбы Волжская	39,28±0,50	23,45±0,45	28,74±0,50	8,53±0,50

Отмечено, что генетический код современной пшеницы существенно отличается от генетического кода двух древних злаков — полбы и фарро, которые люди употребляли в пищу в течение 10 000 лет, и составляет 42 хромосомы, тогда как у полбы всего 10.

Все выше полученные данные позволяют сделать вывод, что полбяная мука возможна для использования в питании людей больных целиакией и поливалентной пищевой аллергией, конечно после консультации врачей.

**Список литературы:**

1. Коптелова Н.Б. Исследование потребительских предпочтений в ассортименте хлебобулочных изделий функционального назначения / Коптелова Н.Б., Ермолаева Е.О., Позняковский В.М. // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология — 2015. — № 1(343) — С. 110—113.
2. Крюкова Е.В. Исследование химического состава полбяной муки / Е.В. Крюкова, Н.В. Лейберова, Е.И. Лихачева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии — 2014. — Т. 2. — № 2 — С. 75—81.
3. Лейберова Н.В. Разработка рецептур и оценка качества безглютеновых мучных кондитерских изделий: Автореф. дис. канд. техн. наук. — Кемерово, 2012. — 21 с.
4. Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года, утвержденные распоряжением Правительства РФ от 25 октября 2010 г.
5. Чугунова О.В. Применение дескрипторно-профильного метода в разработке мучных кондитерских изделий / О.В. Чугунова и др. // Ползуновский вестник — 2012. — № 2/2 — С. 103—107.
6. Schober Tilman J. Gluten proteins from spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) cultivars: A rheological and size-exclusion high-performance liquid chromatography study [text] / Tilman J.Schober // Journal of Cereal Science 44 (2006) P. 161—173.

## МЯСО ИНДЕЙКИ В ТЕХНОЛОГИЯХ МЯСОПЕРЕРАБОТКИ

*Самченко Ольга Николаевна*

*канд. техн. наук, доцент  
Дальневосточного федерального университета,  
РФ, г. Владивосток  
E-mail: [olga\\_samchenko@mail.ru](mailto:olga_samchenko@mail.ru)*

## TURKEY MEAT IN THE TECHNOLOGY OF MEAT PROCESSING

*Olga Samchenko*

*candidate of Technical Science, assistant professor  
of Far Eastern Federal University,  
Russia, Vladivostok*

### АННОТАЦИЯ

Исследована возможность использования мяса индейки в технологиях рубленых полуфабрикатов. Установлено, что разработанный полуфабрикат не уступает по органолептическим показателями, химическому составу и реологическим характеристикам контрольному образцу. Показано, что овсяная мука в качестве дополнительного компонента рецептуры не только улучшает функционально-технологические свойства, но и позволяет оптимизировать химический состав традиционных мясных продуктов.

### ABSTRACT

The possibility of using turkey meat in the technologies of chopped semi-finished products has been investigated. It was found that the developed semi-finished product not inferior for the organoleptic characteristics, chemical composition and rheological characteristics of the control sample. It is shown that oat flour as an additional component of the formulation not only improves functional and technological properties, but also to optimize the chemical composition of conventional meat products.

**Ключевые слова:** мясо индейки; овсяная мука; рубленые полуфабрикаты; функционально-технологические свойства; химический состав; реологические характеристики.

**Keywords:** turkey meat; oat flour; chopped semi-finished products; functional and technological properties; chemical composition; rheological characteristics.

Современный ритм жизни вносит изменения в меню человека, обуславливая повышение интереса к полуфабрикатам. На российском рынке продуктов быстрого приготовления мясные рубленые полуфабрикаты являются лидером сегмента и демонстрируют стабильный рост [2; 3].

Мясные продукты необходимы человеческому организму в качестве источника полноценного белка. В то же время, многие сорта мяса убойных животных отличаются высоким содержанием жира. С этой точки зрения наиболее оптимальным является мясо птицы, которое по количеству белка не уступает говядине и постной свинине, при этом содержание жира в нем значительно меньше. В то же время современные тенденции в области совершенствования структуры питания направлены на создание ассортимента продуктов, обогащенных биологически активными веществами путем совместного использования сырья животного и растительного происхождения.

Целью исследований являлась разработка рецептур и оценка химического состава рубленых полуфабрикатов на основе мяса индейки с введением растительного сырья.

Выбор мяса индейки обусловлен рядом причин: на рынке оно присутствует только в виде натуральных полуфабрикатов и мясо-растительных фаршей, кроме того, по пищевой ценности не уступает куриному мясу. Мясо индейки является источником белков с хорошим балансом аминокислот, благодаря чему оно хорошо переваривается и усваивается. О биологической полноценности мяса индейки можно судить по соотношению триптофана и оксипролина (3,8—5:15—18). Содержание липидов в мышцах по мере роста индюшат уменьшается, обнаружено увеличение количества ненасыщенных жирных кислот, обеспечивающих полноценность мяса, при одновременном снижении количества насыщенных жирных кислот. По сравнению с другими видами птиц содержит незначительное количество холестерина — 74 мг/100 г. По сравнению с курицей, в мясе индейки больше витаминов группы В, А и Е. Оно содержит много фосфора (больше, чем в рыбе). Также в мясе индейки содержатся калий, кальций, сера, магний, йод и марганец. Мясо индейки — низкоаллергенный продукт, хорошо подходит и для детского питания [1; 4].

При производстве рубленых мясных полуфабрикатов в классических рецептурах используют хлеб. В работе была исследована

возможность полной замены хлеба овсяной мукой. По составу аминокислот овсяная мука является самой близкой к мышечному белку, содержит легко усваиваемые углеводы. Овсяная мука отличается низким уровнем крахмала, зато имеет повышенное содержание жира и пищевых растительных волокон. При добавлении её в рецептуры рубленых полуфабрикатов может служить поставщиком в организм человека витаминов, минеральных веществ и незаменимых аминокислот, следовательно, с её помощью можно повысить пищевую и биологическую ценность разрабатываемых изделий. Овсяная мука является хорошим источником крахмала и клетчатки, которые придадут новые технологические характеристики фаршевым изделиям. Также овсяная мука имеет нейтральный вкус и цвет, благодаря чему новый продукт сохранит свои органолептические характеристики.

Была изучена возможность применения овсяной муки в производстве рубленых полуфабрикатов на основе мяса индейки. Объектом исследований являлись фаршевые системы из мяса индейки:

- образец фарша из индейки без добавок (контроль);
- фарш из индейки с добавлением овсяной муки (от 5 % до 20 %).

Определено, что при введении в фарш овсяной муки улучшаются функционально-технологические характеристики фаршевых систем: массовая доля свободной воды в фаршевых системах уменьшалась с увеличением концентрации овсяной муки, влагосвязывающая способность возросла с 64,7 % до 94,4 %, влагоудерживающая способность возросла с 27,7 % до 54 %. Эти изменения могут быть связаны с большим содержанием в растительной добавке крахмала, клетчатки и белка, которые при технологической обработке изделий способны удерживать свободную воду в фаршевой системе.

Так же было изучено влияние растительных добавок на изменение массы фаршевых систем при термической обработке: процент изменения массы фаршевых систем уменьшался от 18,3 % у контрольного образца до 5,4 % у образца с введением 20 % овсяной муки.

Определяли влияние вносимой добавки на органолептические показатели (для лучшего ощущения органолептических свойств в опытные образцы добавляли поваренную соль). Определяли внешний вид готового изделия, вкус, запах (аромат), консистенцию (нежность), цвет фарша на разрезе и сочность.

После проведения органолептического анализа лучшими были признаны образцы с содержанием добавки 10%. Они имели хороший внешний вид, запах и вкус и получили отличную оценку качества.

При внесении овсяной муки в количестве 20 % образцы получили удовлетворительную оценку качества, поскольку потеряли привлекательный внешний вид и стали очень сухими, появился ярко выраженный привкус овсяной муки.

По результатам исследования влияния вносимых добавок на технологические и органолептические свойства фаршевых систем были выбрана оптимальная концентрация овсяной муки — 10 %. На основе теоретических и экспертных исследований были разработаны рецептуры котлет из индейки с введением овсяной муки и выработаны опытные образцы, которые оценивали по органолептическим и физико-химическим показателям.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что добавление овсяной муки в количестве 10 % в полуфабрикаты улучшали сочность и внешний вид готового изделия. После тепловой обработки исследуемые образцы имели правильную, без разорванных краев и трещин форму, практически не изменились в размере. Входящие компоненты были хорошо перемешаны, вкус приятный, в меру соленый, консистенция некрошливая и сочная.

Определяли физико-химические показатели и рассчитывали взаимосвязь химического состава и реологических характеристик разработанных рубленых полуфабрикатов (таблица 1).

**Таблица 1.**

**Взаимосвязь химического состава и реологических характеристик образцов**

Полуфабрикаты	Массовая доля, %			К <sub>х</sub> , %	Статистическое ПНС, Па	Динамическое ПНС, Па
	влаги	белка	жира			
Контрольный образец	69,3	15,9	6,5	5,5	1619,8	1936,4
Исследуемый образец	54,3	18,7	4,5	4,9	1633,3	1953,1

В результате проведения исследований показано, что в исследуемом образце критерий химического состава снизился, что обусловлено изменением баланса белок: жир: сухие вещества (при увеличении содержания белка и сухих веществ уменьшилось содержание жира). По полученным данным структурно-механических характеристик мясные рубленые полуфабрикаты на основе мяса индейки были отнесены к третьей группе — с низкой консистенцией по динамическому напряжению сдвига в пределах 2000 Па.

Таким образом, мясо индейки, является перспективным сырьем для разработки новых видов мясных рубленых полуфабрикатов. Выбранное растительное сырье — овсяная мука, позволяет не только улучшать функционально-технологические свойства, но и оптимизировать химический состав традиционных мясных продуктов.

### Список литературы:

1. Гоноцкий В.А., Федина Л.П. Судьба индейки // Мясная индустрия. — 2006. — № 3. — С. 39—42.
2. Давлеев А.Д. Российский рынок мяса: вызовы и перспективы // Птицепром. — 2012. — № 5 (14). — С. 26.
3. Загоровская В. Куриные истории: курица не птица, а колбаса // Птицепром. — 2013. — № 5 (19). — С. 11.
4. Криштанович В.И. Свойства ветчины на основе мяса индейки // Мясная индустрия. — 2013. — № 1. — С. 51—55.

## СЕКЦИЯ 6.

### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

#### РАСЧЕТ ИНДУКТОРА ДЛЯ СКВОЗНОГО НАГРЕВА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

**Калимуллин Алик Талгатович**

ассистент, каф. ЭСПП,  
Омский государственный технический университет,  
РФ, г. Омск

**Темников Евгений Александрович**

студент 4 курса, энергетического факультета,  
Омского государственного технического университета,  
РФ, г. Омск  
E-mail: [EvgenTemnikov@mail.ru](mailto:EvgenTemnikov@mail.ru)

**Лесков Иван Алексеевич**

студент 4 курса, энергетического факультета,  
Омского государственного технического университета,  
РФ, г. Омск

**Троценко Владислав Михайлович**

студент 4 курса, энергетического факультета,  
Омского государственного технического университета,  
РФ, г. Омск

**Агафонов Никита Константинович**

студент 4 курса, энергетического факультета,  
Омского государственного технического университета,  
РФ, г. Омск



## CALCULATION OF INDUCTOR FOR THROUGH HEATING OF CYLINDRICAL WORK

***Alik Kalimullin***

*assistant of Industrial Power Supply Chair,  
Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk*

***Evgeniy Temnikov***

*4-year student of Energetic Department, Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk*

***Ivan Leskov***

*4-year student of Energetic Department, Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk*

***Vladislav Trotchenko***

*4-year student of Energetic Department, Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk*

***Nikita Agafonov***

*4-year student of Energetic Department, Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk*

### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена расчету индуктора для сквозного нагрева цилиндрических заготовок.

### ABSTRACT

The article is devoted to calculation of inductor for through heating of cylindrical work.

**Ключевые слова:** индуктор; нагрев.

**Keywords:** inductor; heating.

Индукционный нагрев основан на поглощении электромагнитной энергии металлическими телами, помещенными в быстропеременное магнитное поле. По закону электромагнитной индукции в теле (заготовке, изделии) наводится ЭДС под действием которой в теле протекают так называемые вихревые токи, нагревающие тело.

Проведем расчет индуктора для сквозного нагрева цилиндрических заготовок.

### 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.

Диаметр загрузки  $d_2$ : 50 мм;

Высота загрузки  $h_2$ : 200 мм;

Материал загрузки: Немагнитная сталь;

Напряжение на индукторе: 1500 В;

Конечная температура нагрева  $t_0$ : 1300 °С.

### 2. ВЫБОР ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ИНДУКТОРА.

Максимальное значение полного КПД индуктора достигается при соотношении диаметров:

$$d_1 = d_2 + (0,015 \dots 0,03) = 0,05 + 0,015 = 0,065 \text{ м};$$

Длину индуктора определяют из условия необходимости равномерного нагревания заготовки по всей длине заготовки, что соответствует соотношению:

$$h_1 = h_2 + (1 \dots 2) * d_2 = 0,2 + 1 * 0,05 = 0,25 \text{ м};$$

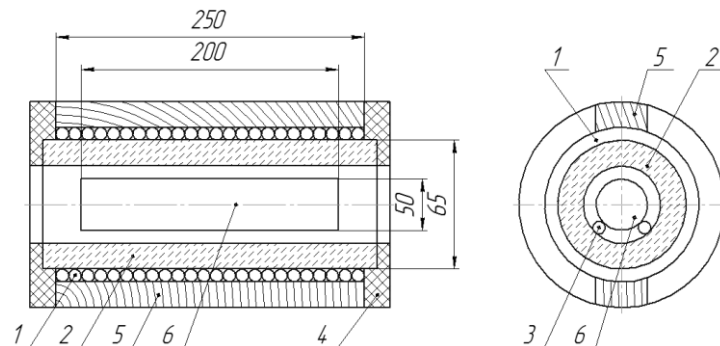
Мощность тепловых потерь для цилиндрических индукторов с шамотной изоляцией определяют по формуле:

$$\Delta P_T = 3,74 * \frac{h_1}{\log\left(\frac{d_1}{d_3}\right)}, \text{ где } d_3 \text{ — внутренний диаметр тепловой}$$

изоляция, причем:  $d_3 = (1,1 \dots 1,2) * d_2 = 1,1 * 0,05 = 0,055 \text{ м};$

Тогда:

$$\Delta P_T = 3,74 * \frac{0,25}{\log\left(\frac{0,065}{0,055}\right)} = 12,888 \text{ кВт};$$



**Рисунок 1. Конструкция индуктора для сквозного нагрева:**  
 1 — Обмотка индуктора; 2 — Шамотная изоляция;  
 3 — Направляющие; 4 — Фасадные асбестовые плиты;  
 5 — Деревянные стягивающие брусья; 6 — Нагреваемая заготовка

### 3. ВЫБОР ЧАСТОТЫ ПИТАЮЩЕГО ТОКА.

$$\frac{3 \cdot 10^6 \cdot \rho_2}{d_2^2 \cdot \mu_{2r}} < f < \frac{6 \cdot 10^6 \cdot \rho_2}{d_2^2 \cdot \mu_{2r}}$$
, где  $\rho_2$  — Удельное сопротивление стали, равное  $1,2 \cdot 10^6$  Ом м;  $\mu_{2r}$  — Магнитная проницаемость нагреваемого материала,  $\mu_{2r} = 1$ . Тогда:

$$\frac{3 \cdot 10^6 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6}}{0,05^2 \cdot 1} < f < \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6}}{0,05^2 \cdot 1}; 1440 < f < 2880;$$

По таблице 4 [1] принимаем оптимальную частоту тока для сквозного нагрева изделия из стали  $f = 2500$  Гц.

### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ НАГРЕВА И УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МОЩНОСТИ.

$$\tau_k = 22 \cdot 10^4 \cdot d_2^2 \cdot [S(\alpha, 1) - 1,17 \cdot S(\alpha, 0)],$$
 с, где  $S(\alpha, 1) = 0,08$  и  $S(\alpha, 0) = -0,1183$  при  $\alpha = 0,8$ , это вспомогательные функции, определяемые по таблице 5 [1]. Тогда:

$$\tau_k = 22 \cdot 10^4 \cdot 0,05^2 \cdot [0,08 - 1,17 \cdot (-0,1183)] = 119,931 \text{ с}$$

Удельная поверхностная мощность:

$$p_0 = \frac{\lambda \cdot t_0}{2 \cdot R_2 \cdot (F_0 + S(\alpha, 1))}, \text{ Вт / м}^2, \text{ где } \lambda \text{ — Теплопроводность}$$

по таблице 6 [1],  $F_0$  — Критерий Фурье, равный:  $F_0 = \frac{a \cdot \tau_k}{R_2^2} =$

$$\frac{62,5 \cdot 10^{-7} \cdot 119,931}{0,025^2} = 1,199; \text{ Тогда:}$$

$$p_0 = \frac{\lambda \cdot t_0}{2 \cdot R_2 \cdot (F_0 + S(\alpha, 1))} = \frac{41,9 \cdot 1300}{2 \cdot 0,025 \cdot (1,199 + 0,08)} = 6,55 \cdot 10^5 \text{ Вт / м}^2;$$

## 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ИНДУКТОРА.

Электрическая схема замещения по полному току представлена на рисунке 2.

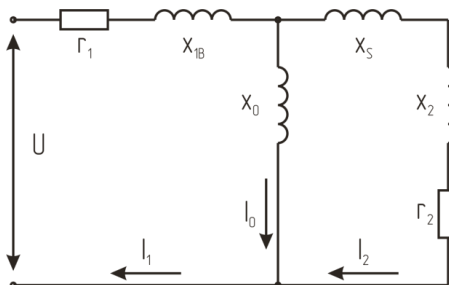


Рисунок 2. Электрическая схема замещения по полному току

Упрощенная электрическая схема замещения представлена на рисунке 3.

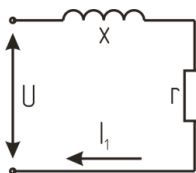


Рисунок 3. Упрощенная электрическая схема замещения

### 5.1. Глубина проникновения тока в материал индуктора:

$\Delta_1 = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho_1}{f}}$ , м, где  $\rho_1 = 2 \cdot 10^{-8}$  Ом \* м — Удельное сопротивление меди при расчетной температуре нагрева индуктора.

Тогда:

$$\Delta_1 = 503 * \sqrt{\frac{\rho_1}{f}} = 503 * \sqrt{\frac{2*10^{-8}}{2500}} = 1,423 * 10^{-3} \text{ м};$$

## 5.2. Глубина проникновения тока в материал загрузки:

$$\Delta_2 = 503 * \sqrt{\frac{\rho_2}{f * \mu_{2r}}} = 503 * \sqrt{\frac{1,2*10^{-6}}{2500*1}} = 0,011 \text{ м};$$

## 5.3. Активное сопротивление индуктора при условии, что толщина внутренней стенки трубки индуктора $b_1 \approx 1,5 * \Delta_1$ :

$r_1 = \frac{(\pi * \rho_1 * d_{1p})}{\Delta_1 * h_1 * k_3} = \text{ом/виток}^2$ , где  $k_3$  — Коэффициент заполнения индуктора, равный отношению высоты витка без изоляции к шагу навивки (принимают от 0,75 до 0,9);  $d_{1p} = d_1 + \Delta_1$  — диаметр центрального слоя глубины проникновения тока в металл индуктора. Тогда:

$$d_{1p} = d_1 + \Delta_1 = 0,065 + 1,423 * 10^{-3} = 0,066 \text{ м};$$
$$r_1 = \frac{(\pi * \rho_1 * d_{1p})}{\Delta_1 * h_1 * k_3} = \frac{3,14 * 2 * 10^{-8} * 0,066}{1,423 * 10^{-3} * 0,25 * 0,75} = 1,565 * 10^{-5} \text{ Ом / виток}^2;$$

## 5.4. Относительная координата глубины проникновения тока в металл заготовки:

$$m_2 = \sqrt{2} * \frac{R_2}{\Delta_2} = \sqrt{2} * \frac{0,025}{0,011} = 3,208;$$

## 5.5. Активное сопротивление загрузки:

$r_2 = \pi * \rho_2 * m_2^2 * \frac{A}{h_2}$ , Ом / виток<sup>2</sup>, где  $A = f(m_2)$  — Вспомогательная функция, определяемая по таблице 7 [1]. Тогда:

$$r_2 = 3,14 * 1,2 * 10^{-6} * 3,208^2 * \frac{0,34}{0,2} = 6,596 * 10^{-5} \text{ Ом / виток}^2;$$

## 5.6. Внутреннее реактивное сопротивление индуктора:

$x_{1в} = r_1 * \tan \Psi$  Ом / виток<sup>2</sup>, где  $\Psi$  — Сдвиг фаз между напряженностями электрического и магнитного полей в металле индуктора.

Если выполнено условие  $b_1 \geq 1,5 * \Delta_1$  ( $1,5 * \Delta_1 = 1,5 * 0,01 = 0,015$ ), то  $\tan \Psi \approx 1$ , тогда  $x_{1B} \approx r_1$ .

### 5.7. Внутреннее реактивное сопротивление загрузки:

$$x_2 = \pi * \rho_2 * m_2^2 * \frac{B}{h_2}, \quad \text{Ом} / \text{виток}^2, \quad \text{где } B = f(m_2) \quad \text{—}$$

Вспомогательная функция, определяемая по таблице 7 [1]. Тогда:

$$x_2 = 3,14 * 1,2 * 10^{-6} * 3,208^2 * \frac{0,476}{0,2} = 9,235 * 10^{-5} \text{ Ом} / \text{виток}^2;$$

### 5.8. Реактивное сопротивление рассеивания:

$$x_s = \frac{2 * f * \pi^3 * (d_1^2 - d_2^2)}{h_2} * 10^{-7} = \frac{2 * 2500 * 3,14^3 * (0,065^2 - 0,05^2)}{0,2} * 10^{-7} = 1,337 * 10^{-4} \text{ Ом} / \text{виток}^2;$$

### 5.9. Реактивное сопротивление пустого индуктора:

$$x_1 = \frac{2 * f * \pi^3 * d_1^2}{h_1} * k * 10^{-7}, \quad \text{Ом} / \text{виток}^2, \quad \text{где } k = \frac{x_1}{x_{10}} = f\left(\frac{d_1}{h_1}\right) \quad \text{—}$$

Поправочный коэффициент, учитывающий концевые эффекты короткого индуктора, который определяется по таблице 8 [1]. Тогда:

$$\frac{d_1}{h_1} = \left(\frac{0,065}{0,25}\right) = 0,26 \approx 0,8;$$

Отсюда:

$$x_1 = \frac{2 * 2500 * 3,14^3 * 0,065^2}{0,25} * 0,8 * 10^{-7} = 2,096 * 10^{-4} \text{ Ом} / \text{виток}^2;$$

### 5.10. Реактивное сопротивление обратного замыкания:

$$x_0 = \frac{x_1 * h_1}{h_1 - k * h_2} = \frac{2,096 * 10^{-4} * 0,25}{0,25 - 0,8 * 0,2} = 5,822 * 10^{-4} \text{ Ом} / \text{виток}^2;$$

**5.11. Коэффициент приведения параметров, позволяющих перейти от схемы замещения по полному потоку к упрощенной схеме замещения:**

$$c = \frac{x_0^2}{r_2^2 + (x_0 + x_s + x_2)^2} = \frac{(5,822 * 10^{-4})^2}{(6,596 * 10^{-5})^2 + (5,822 * 10^{-4} + 1,337 * 10^{-4} + 9,235 * 10^{-5})^2} = 0,515;$$

**5.12. Приведенное активное сопротивление загрузки:**

$$r'_2 = c * r_2 = 0,515 * 6,596 * 10^{-5} = 3,4 * 10^{-5} \text{ Ом / виток}^2;$$

**5.13. Приведенное реактивное сопротивление индуктора:**

$$x'_2 = \frac{c * [(x_s + x_2) * (x_0 + x_s + x_2) + r_2^2]}{x_0} =$$
$$\frac{0,515 * [(1,337 * 10^{-4} + 9,235 * 10^{-5}) * (5,822 * 10^{-4} + 1,337 * 10^{-4} + 9,235 * 10^{-5}) + (6,596 * 10^{-5})^2]}{5,822 * 10^{-4}} =$$
$$1,656 * 10^{-4} \text{ Ом / виток}^2;$$

**5.14. Эквивалентное активное сопротивление индуктора с нагрузкой:**

$$r = r_1 + r'_2 = 1,565 * 10^{-5} + 3,4 * 10^{-5} = 4,956 * 10^{-5} \text{ Ом / виток}^2;$$

**5.15. Эквивалентное активное сопротивление индуктора с нагрузкой:**

$$x = x_{1B} + x'_2 = 1,565 * 10^{-5} + 1,656 * 10^{-4} = 1,813 * 10^{-4} \text{ Ом / виток}^2;$$

**5.16. Эквивалентное полное сопротивление индуктора с нагрузкой:**

$$z = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{(4,956 * 10^{-5})^2 + (1,813 * 10^{-4})^2} = 1,879 * 10^{-4} \text{ Ом / виток}^2;$$

**5.17. Электрический КПД индуктора:**

$$\eta_{и} = \frac{r'_2}{r} = \frac{3,4 * 10^{-5}}{4,956 * 10^{-5}} = 0,685 \approx 68,486\%;$$

**5.18. Коэффициент мощности индуктора:**

$$\cos \varphi_{и} = \frac{r}{z} = \frac{4,956 * 10^{-5}}{1,879 * 10^{-4}} = 0,264;$$

**5.19. Мощность, передаваемая в нагрузку:**

$$P_2 = \pi * d_2 * h_2 * p_0 = 3,14 * 0,05 * 0,2 * 6,55 * 10^5 = 20,58 \text{ кВт};$$

**5.20. Мощность, подводимая к индуктору:**

$$P_{\text{и}} = \frac{P_2}{\eta_{\text{и}}} = \frac{20,58}{0,685} = 30,05 \text{ кВт};$$

**5.21. Число витков индуктора при заданном напряжении на индукторе:**

$$n = U * \sqrt{\frac{\cos \varphi_{\text{и}}}{z * P_{\text{и}}}} = 1500 * \sqrt{\frac{0,264}{1,879 * 10^{-4} * 30,05}} = 324,425 \approx 325;$$

**5.22. Активное, реактивное и полное сопротивления индуктора с нагрузкой:**

$$\begin{aligned} r_{\text{и}} &= r * n^2 = 4,956 * 10^{-5} * 325^2 = 5,244 \text{ Ом}; \\ x_{\text{и}} &= x * n^2 = 1,813 * 10^{-4} * 325^2 = 19,145 \text{ Ом}; \\ z_{\text{и}} &= z * n^2 = 1,879 * 10^{-4} * 325^2 = 19,851 \text{ Ом}; \end{aligned}$$

**5.23. Ток индуктора:**

$$I_1 = \frac{U}{z_{\text{и}}} = \frac{1500}{19,851} = 75,564 \text{ А};$$

**5.24. Электрические потери в индукторе:**

$$\Delta P_{\text{и}} = I_1^2 * r_1 * n^2 = 75,564^2 * 1,565 * 10^{-5} * 325^2 = 9,436 \text{ кВт};$$

**5.25. Мощность конденсаторной батареи, необходимой для компенсации реактивной мощности:**

$$Q_{\text{кб}} = P_{\text{и}} * \tan \varphi_{\text{и}} = P_{\text{и}} * \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_{\text{и}}} - 1} = 30,05 * \sqrt{\frac{1}{0,264^2} - 1} = 109,7 \text{ кВар};$$



**5.26. Мощность электрических потерь в конденсаторной батарее:**

$\Delta P_{кб} = Q_{кб} * \tan \delta$ , Вт, где  $\tan \delta$  — Тангенс угла потерь в конденсаторах, который можно принять в интервале (0,0025 ÷ 0,0045). Тогда:

$$\Delta P_{кб} = 109,7 * 10^3 * 0,0025 = 0,274 \text{ кВт};$$

**5.27. Мощность электрических потерь в токопроводах:**

$\Delta P_{ток} = I_1^2 * R_{ток}$ , Вт, где  $R_{ток}$  — Активное сопротивление гибких кабелей, которое можно приближённо можно принять равным  $0,1 * \Delta R_{и}$ . Тогда:

$$\Delta P_{ток} = 0,1 * \Delta R_{и} = 0,1 * 9,436 * 10^3 = 0,944 \text{ кВт};$$

**5.28. Активная мощность, потребляемая от источника питания (сети, согласующего трансформатора или преобразователя частоты):**

$$P_y = P_2 + \Delta P_{и} + \Delta P_{кб} + \Delta P_{ток} = 20,58 + 9,436 + 0,274 + 0,944 = 31,234 \text{ кВт};$$

В соответствии с последним выражением выбираем ближайший по мощности выпускаемый промышленностью источник питания (согласующийся трансформатор или преобразователь частоты).

Выбираем преобразователь частоты ТПЧП-320-0,5

Данный преобразователь оснащён системами:

внутренней самодиагностики и защиты; многоконтурного автоматического регулирования; дистанционного управления и регулирования; отображения параметров преобразователя и состояния основных элементов.

Охлаждение водяное двухконтурное

**Список литературы:**

1. Коврижин Б.Н., Харченко М.С./ «Расчет индуктора для сквозного нагрева цилиндрических заготовок»: Методические указания к расчетно-графической работе по специальностям 100400 и 650900 для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения, ОмГТУ, 2002 г. — 20 стр.

## СЕКЦИЯ 7.

# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ

## ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СТАЛЬНЫХ ТРУБ

**Гевлич Сергей Олегович**

канд. техн. наук, технический директор ООО «Экспертиза»,  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [sgevlitch@mail.ru](mailto:sgevlitch@mail.ru)

**Бабяк Татьяна Геннадьевна**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Васильев Константин Александрович**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Макарова Надежда Васильевна**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Мирзонов Максим Владимирович**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

## EXPRESS-METHOD OF EVALUATION OF RESIDUAL LIFE OF STEEL PIPES

**Sergey Gevlich**

*candidate of Technical Sciences, Technical Director LLC “Expertiza”,  
Russia Volgograd*

**Tatiana Babjac**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia Volgograd*

**Constantin Vasilev**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia Volgograd*

**Nadejda Makarova**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia Volgograd*

**Maksim Mirzonov**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia Volgograd*

### АННОТАЦИЯ

Предложен метод оценки остаточного ресурса трубопроводов, основанный на учете деградации механических свойств трубных сталей в процессе эксплуатации. В основе метода лежит система пересчета результатов измерения твердости по Бринеллю в стандартные механические свойства: предел прочности и предел текучести. Сделано сравнение с нормативным расчетом для реальной конструкции.

### ABSTRACT

A method for evaluation of residual life of pipelines based on degradation of mechanical properties of pipe steels during operation. The method is based on a system of recalculating the results of hardness by Brinell in standard mechanical properties: tensile strength and yield point. Made comparison with normative calculation for real design.

**Ключевые слова:** остаточный ресурс; предел прочности; газопроводы.

**Keywords:** residual resource; tensile strength; gas pipelines.

При проведении технического диагностирования технических устройств дефектоскописты используют все современные методы неразрушающего контроля. Следует отметить, что эти измерения имеют цель определить критерии перехода в предельное состояние и выполнить расчеты остаточного ресурса по этим выбранным критериям.

Таков общий алгоритм решения задачи оценки остаточного ресурса технического устройства на опасном производственном объекте [5].

Рассмотрим один частный вопрос технического диагностирования — газопроводы природного газа низкого давления, питающего большинство газопотребляющих устройств машиностроения, металлургии, химии, теплоэнергетики.

Практика диагностирования показывает, что при правильной прокладке с соблюдением требований ПБ 12-529-03 и ПБ 11-411-01 коррозионный износ наружной поверхности отсутствует. Фиксируемые утонения могут быть связаны с локальным воздействием влаги с крыш, коррозией в заделке перекрытий и т.п. Поэтому при расчетах остаточного ресурса по критерию недопустимого коррозионного утонения стенки получаются завышенные значения. Не следует ожидать и коррозии изнутри, т.к. газ поставляется осушенным.

Выявляемые при толщинометрии отклонения от средней толщины связаны, как правило, с допусками на толщину, предусмотренными соответствующими стандартами и техническими условиями.

Одним из возможных механизмов перехода в предельное состояние может быть деградация механических свойств металла (стали) в результате силового воздействия, например, давления, деформационных дефектов и т.п. [3]. Типичным проявлением деградации является деформационное старение (ДС), которое сопровождается снижением вязкости разрушения стали, повышением температуры вязко-хрупкого перехода. При этом имеет место заметное повышение прочностных характеристик: предела текучести и предела прочности.

Оценки охрупчивания в результате ДС проводятся на основании результатов испытаний на ударный изгиб или трещиностойкость, определения фрактографическим путем значения  $T_{50}$ . Однако возможности разрушающих испытаний в процессе экспертизы, как правило, ограничены. В этой связи перспективными представляются косвенные методы оценки ДС. Таким методом может быть измерение твердости [1]. Следует сразу же отметить, что само по себе измерение твердости не является кинетической характеристикой, а для ресурсных оценок как раз важны временные зависимости изменения твердости. В работах [4; 5] предложены такие зависимости для малоуглеродистых

и кремнемарганцевых сталей. Воспользуемся этими данными и сравним получаемые расчетные результаты.

Рассмотрим рабочий пример. Газопровод выполнен из трубы  $D = 219$  мм,  $S = 5$  мм, Сталь 20

Давление  $P = 0,060$  МПа, средняя температура эксплуатации  $T = 10$  °С

Измеренная средняя твердость по Бринеллю 126 НВ.

Измеренная средняя твердость по Лейбу 290 НЛ.

Содержание углерода и марганца выбираем максимальным по ГОСТ 8731-74.

Алгоритмы расчета приведены в [4] и [5]. Отметим основные этапы. Во-первых, по полученным числам твердости НВ и НЛ определяются основные механические свойства стали  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_b$ . Для этого использованы зависимости, приведенные в работе М.С. Дрозда [1] и приложении К, РД 12-411-01. Во-вторых, в методике [2] старение учитывается коэффициентом снижения прочности, зависящим от легирования стали углеродом и марганцем. В РД 12-411-01 старение учитывается эмпирическими коэффициентами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$  приведенными в таблице 3 применительно к малоуглеродистым сталям. В-третьих, ресурс по [5] получается путем решения обычного линейного уравнения, в то время как в [4] приходится применять графоаналитический метод решения системы уравнений линейного и полиномиального.

Возвращаясь к выбранной модели отметим, что в соответствии с этими алгоритмами остаточный ресурс по РД 12-411-01 получен равным 44 года, а по методике [2] он (ресурс) составляет 8 лет.

Таким образом, при сравнении двух методов определения остаточного ресурса на основании данных замера твердости предпочтение следует отдать методу, описанному в [2].

### Список литературы:

1. Дрозд М.С. Определение механических свойств металла без разрушения., М.: Металлургия., 1965. — 172 с.
2. Гевлич С.О., Полонский Я.А. Расчет остаточного ресурса статически нагруженных конструкций в условиях эксплуатационного старения.// Безопасность труда в промышленности. — 2009. — № 3. — с. 51—53.
3. Горицкий В.М. Диагностика металлов., М.: Металлургиздат., 2004. — 402 с.
4. Инструкция по диагностированию технического состояния подземных стальных газопроводов. РД 12-411-01., М.: ГУП Промышленная безопасность., 2004 — 104 с.
5. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов. РД 03-421-01., М.: ГУП Промышленная безопасность., 2003. — 152 с.

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ

**Гевлич Сергей Олегович**

канд. техн. наук, технический директор ООО «Экспертиза»,  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [sgevlich@mail.ru](mailto:sgevlich@mail.ru)

**Гевлич Дмитрий Сергеевич**

канд. техн. наук, директор ООО «Экспертиза»,  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Бабяк Татьяна Геннадьевна**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Васильев Константин Александрович**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Коновалов Сергей Сергеевич**

инженер-дефектоскопист ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Макарова Надежда Васильевна**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Мирзонов Максим Владимирович**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

## ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION OF THERMAL CONTROL EQUIPMENT BY

**Sergey Gevlich**

*candidate of Technical Sciences, Technical Director  
LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Dmitry Gevlich**

*candidate of Technical Sciences, Director LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Tatiana Babiac**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Constantin Vasilev**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Sergey Conovalov**

*engineer LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Nadejda Makarova**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Maksim Mirzonov**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

### АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрено применение тепловизионного метода контроля за состоянием металлургического оборудования непосредственно в процессе эксплуатации. Показаны возможности метода на реальных конструкциях. Рассмотренные примеры применения тепловизионного контроля и анализа полученных термограмм позволяют рекомендовать тепловизионный метод в качестве основного

метода интегрального контроля в процессе технического диагностирования металлургического оборудования.

### ABSTRACT

In the work considered the use of thermal imaging method for monitoring of metallurgical equipment directly in the process of exploitation. Showing possibilities of the method on real designs. Examples of application of thermal control and analysis of thermograms allow to recommend the thermal method as a primary method of integrated control in the process of technical diagnostics of metallurgical equipment.

**Ключевые слова:** промышленная безопасность; техническое диагностирование; металлургия.

**Keywords:** industrial safety; technical diagnosis; metallurgy.

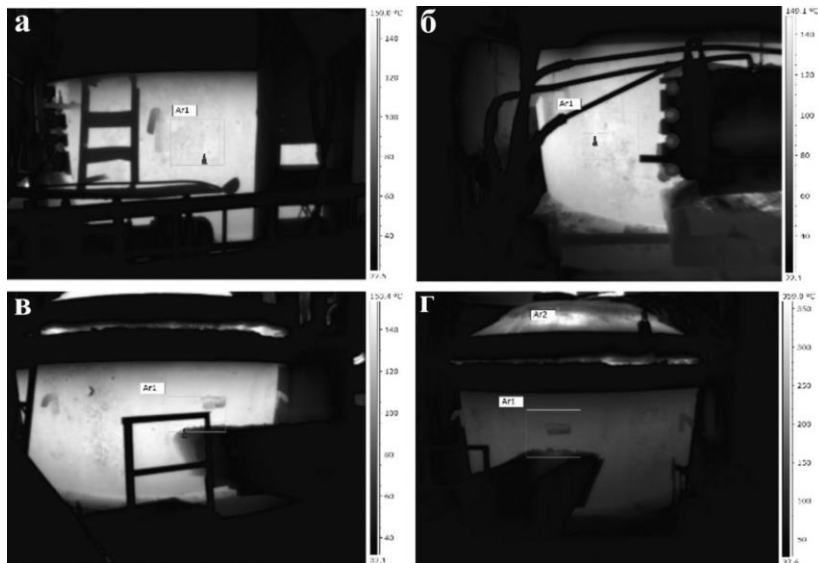
Тепловизионный контроль (ТК) является одним из интегральных методов технического диагностирования, позволяющим производить обследование всего технического устройства без нарушения его целостности и работоспособности во время эксплуатации на текущих (рабочих) параметрах. Именно возможность проведения диагностики устройств и их компонентов без исключения их из производственной цепи предопределила высокую эффективность тепловизионного контроля при оценке соответствия опасных производственных объектов (ОПО) требованиям промышленной. В настоящее время ТК успешно применяется для диагностирования металлургического, термического и нефтехимического оборудования.

В данной работе приведены примеры результатов применения ТК для технической диагностики различных видов оборудования, работающего при повышенных температурах (плавильные и термические нагревательные печи), с целью выявления составляющих частей и узлов объекта контроля для более тщательного обследования.

Тепловизионный контроль проводился с помощью инфракрасной камеры FLIR T425 (точность измерения  $\pm 2$  °C или 2 % от измерения).

На рисунке 1 представлены термограммы дуговой печи для выплавки стали ёмкостью 10 тонн, снятые в период расплавления шихты. Тепловизионная съёмка проводилась по боковой поверхности кожуха печи со стороны завалочного окна и сливного желоба.



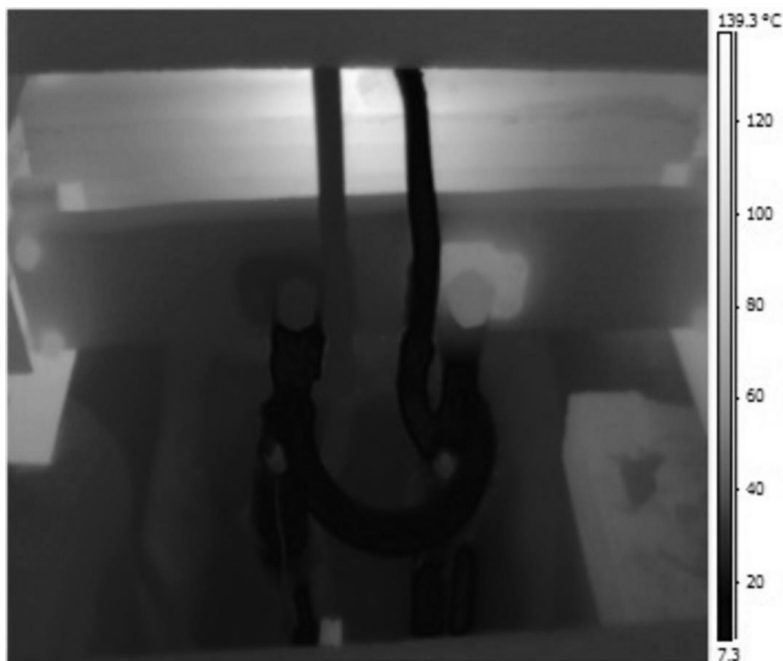


**Рисунок 1. Термограммы дуговой сталеплавильной печи (ДСП-10):  
а — термограмма боковой поверхности печи со стороны портала;  
б — термограмма завалочного окна печи; в, г — термограммы  
боковой поверхности печи со стороны выпускного желоба**

По представленным термограммам видно, что температура, зафиксированная в зонах Ag1, составляет 150—180 °С, а температура свода печи несколько выше и превосходит 300 °С (не более 360 °С). Водяное охлаждение сводового кольца в данном случае крайне эффективно — его температура не превышает 40 °С. На кожухе данной печи не выявлено зон перегрева, что свидетельствует о целостности огнеупорной футеровки. Высокая же температура свода свидетельствует о том, что набивная кладка не обеспечивает достаточной тепловой изоляции по причине значительного износа и требует ремонта.

Исследование индукционной печи с набивной футеровкой для выплавки медных сплавов с водоохлаждаемым индуктором показало отсутствие каких-либо нарушений футеровки печи. Индуктор охлаждается проточной водой в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации и правил безопасности, о чём свидетельствует отсутствие зон локального перегрева на термограммах. Съемка же с другой позиции (см. рисунок 2) показала наличие перегрева одного из токоподводящих контактов. Температура правого контакта

находится в пределах 100—120 °С, в то время как температура левого контакта не превосходит 30 °С. Очевидна необходимость обслуживания токоподводящих элементов индукционной печи в течение ближайшего планово-предупредительного ремонта, так как подобное явление может быть связано с нарушением электрического контакта элемента (ослабленное крепление) или с нарушением его водяного охлаждения. Невнимание к выявленной проблеме может привести к нарушениям в работе технического устройства и даже к развитию аварийной ситуации.



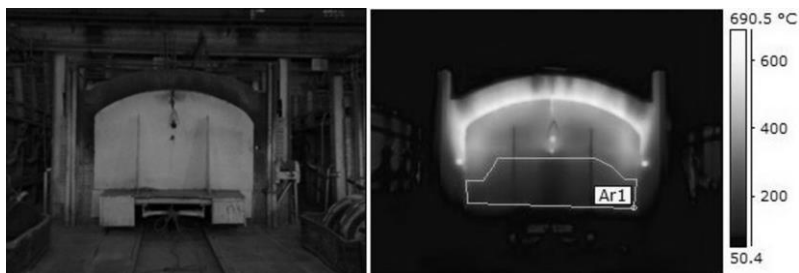
*Рисунок 2. Термограмма токоподводящей колодки индукционной печи*

Таким образом, применение тепловизионной (инфракрасной) съемки в процессе технического диагностирования позволяет провести интегральный контроль плавильной печи и определить зоны или участки в её конструкции, требующие дополнительного внимания (локального контроля специальными средствами) со стороны обслуживающего персонала для сохранения работоспособности и произво-

длительности металлургического агрегата. Данный метод одинаково применим как для крупных сталеплавильных печей, так и для малых лабораторных индукторов.

Нагревательные и термические печи являются одними из самых распространённых и основных технических устройств на предприятиях чёрной и цветной металлургии. Их опасность связана, в первую очередь, с наличием поверхностей, нагретых до высоких температур, и применением взрывопожароопасного топлива (в частности, природного газа). В связи с этим, очевидны требования к контролю технического состояния и обустройству нагревательных и термических печей изложенные в соответствующих правилах безопасности и федеральных нормах и правилах.

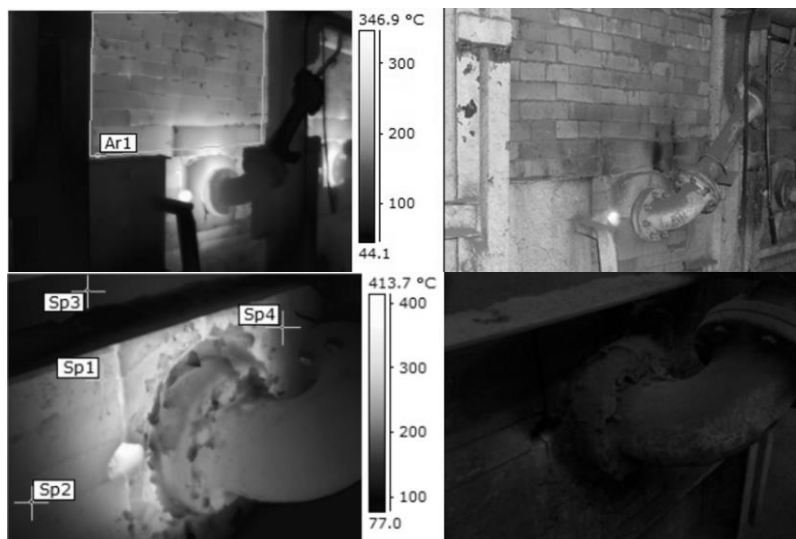
Рассмотрим термограммы термической печи с выкатным подом для термообработки отливок, сварных конструкций и т. п. Очевидно, что зоны максимальных температур корпуса печи будут находиться в непосредственной близости к окнам загрузки, горелкам, смотровым окошкам и запальным каналам. На рисунке 3 показана термограмма такой печи.



**Рисунок 3. Внешний вид термической печи со стороны заслонки (слева) и её термограмма во время изотермической выдержки (справа)**

Тепловизионные замеры показали, что минимальная температура в точке Ar1 достигает 275 °С, а в верхней части заслонки более 650 °С. В первую очередь, это связано с дефектностью огнеупорной кладки заслонки печи и неправильной её установкой (в данном случае, заслонка стоит на поде печи и отклоняется от вертикального положения). Также следует обратить внимание на то, что в зоне перегрева находятся и удерживающие элементы заслонки (цепи), которые в процессе загрузки (выгрузки) подвергаются значительным

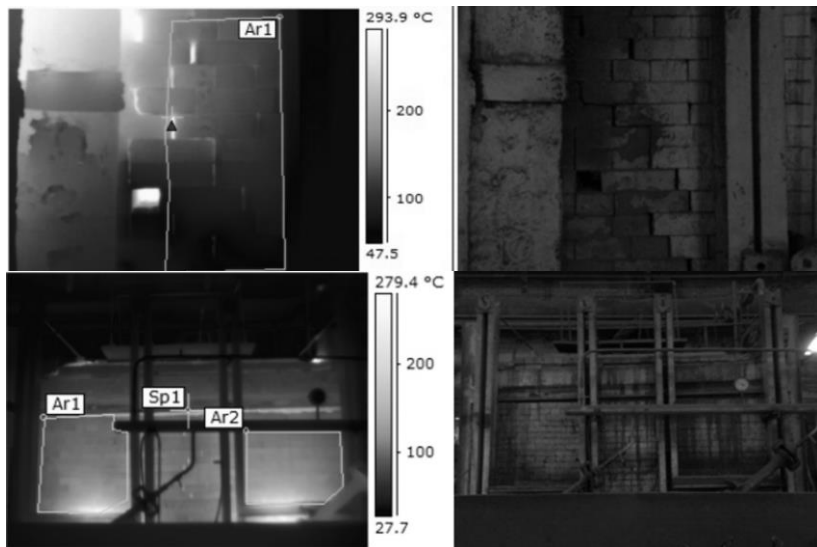
нагрузкам. Обнаруженные факты указывают на вероятное развитие будущей аварийной ситуации и подлежат устранению.



**Рисунок 4. Термограммы (слева) и внешний вид (справа) зон подвода газопровода к горелке**

Из термограммы, представленной на рисунке 4, следует, что наружная поверхность кладки печи, непосредственно прилегающая к горелочному перевалу в зоне подовых горелок, перегрета до температуры 300 °С и более. Это свидетельствует о нарушении организации факельного горения в пространстве печи (преграда на пути движения высокотемпературных продуктов сгорания) или о возможных нарушениях технологии в процессе строительства или ремонта данного участка кладки. Высокая температура и наличие локально перегретых участков могут привести к нагреву газопроводов и управляющей арматуры, что в лучшем случае вызовет нарушение в настройке температурного режима, а в худшем — развитие аварийной ситуации, связанной с разрушением газопровода.

Рисунок 5 дополнительно иллюстрирует высказанные предположения о недопустимости дефектов боковых стен нагревательной печи. В зоне Ar1 температура превосходит 300 °С. Незаполненные швы, отсутствие кирпичей в кладке — это, по сути, недопустимые дефекты, которые требуют восстановительного ремонта и немедленного устранения.



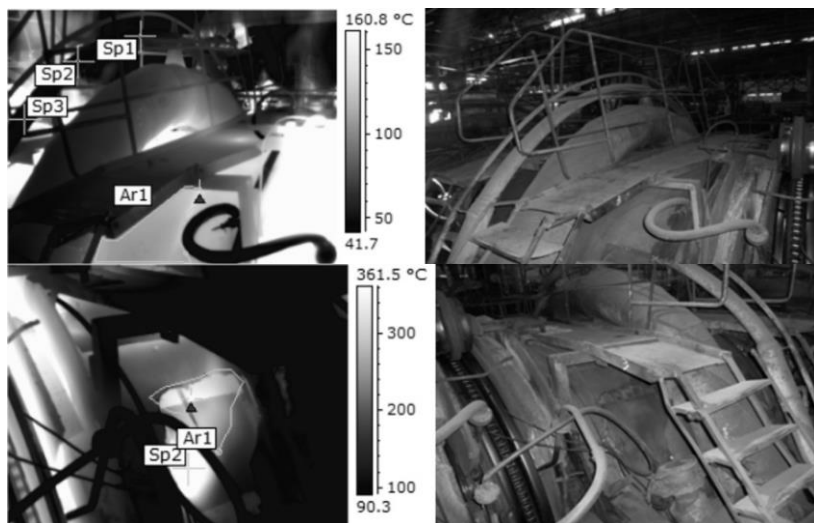
**Рисунок 5. Термограммы (слева) и внешний вид (справа) боковых поверхностей кладки термической печи**

Перегрев рабочей зоны опасен как непосредственно для обслуживающего персонала, так и может приводить к нагреву газопроводных систем питания печи, механизмов перемещения и других вспомогательных технических устройств. Пример такого термического воздействия показан на рисунке 6.

В зоне Ar1 максимальная температура превосходит 350 °С, в некоторых точках температура достигает почти 400 °С. Это участок кожуха одной из зон печи, сварное соединение металлических плит которого, явно негерметично. Также очевидно, нарушение технологии теплоизоляции участка печи, примыкающего к турбулентной горелке. Визуальный осмотр холодной печи показал наличие сильного разрушения огнеупорной кладки в указанном месте.

Измерение температур элементов механизма перемещения труб (колес с цепным механическим приводом) позволило получить весьма показательные данные. Температура некоторых элементов достигала 350 °С, несмотря на существующую систему охлаждения движущихся частей с помощью водоохлаждаемых экранов. Следует отметить, что из жаростойкой стали выполнены только ступицы приводных колёс (внутренняя часть колеса, непосредственно касающаяся нагретой трубы). Таким образом, цепной привод механизма подвергается

длительному высокотемпературному воздействию, что приводит к частым остановкам печи для ремонтных работ (разрыв и соскакивание цепи являются одними из самых частых поломок на данном оборудовании).



**Рисунок 6. Термограммы (слева) и внешний вид (справа) закалочной газовой печи для объёмной закалки стальных труб большого диаметра**

Рассмотренные примеры применения тепловизионного контроля и анализа полученных термограмм позволяют рекомендовать тепловизионный метод в качестве основного (вместе с визуально-измерительным) метода интегрального контроля в процессе технического диагностирования металлургического оборудования. Простота процесса обследования, его оперативность, удобная форма представления результатов, возможность использования без специальной остановки оборудования — далеко не полный перечень преимуществ указанного метода для решения задач диагностики и экспертизы промышленной безопасности. Применение современных инновационных методов контроля технического состояния оборудования позволяет быстро реагировать на постоянное ужесточение норм и требований в области промышленной безопасности и энерго- и ресурсосбережения.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

**Гевлич Сергей Олегович**

канд. техн. наук, технический директор ООО «Экспертиза»,  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [sgevlich@mail.ru](mailto:sgevlich@mail.ru)

**Гевлич Дмитрий Сергеевич**

канд. техн. наук, директор ООО «Экспертиза»,  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Болотин Анатолий Вадимович**

инженер-дефектоскопист ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Васильев Константин Александрович**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Коновалов Сергей Сергеевич**

инженер ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Макарова Надежда Васильевна**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Мирзонов Максим Владимирович**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

## STUDY ON TECHNICAL CONDITION OF ARC FURNACES

**Sergey Gevlich**

*candidate of Technical Sciences, Technical Director LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Dmitry Gevlich**

*candidate of Technical Sciences, Director LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Anatoly Bolotin**

*engineer LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Constantin Vasilev**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Sergey Conovalov**

*engineer LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Nadejda Makarova**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Maksim Mirzonov**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

### АННОТАЦИЯ

Приведены результаты тепловизионного контроля дуговых сталеплавильных печей, применяющихся как на металлургических предприятиях, так и при производстве отливок. Показаны возможности метода для определения технического состояния узлов печей и оценки безопасной эксплуатации. Сделаны выводы о применимости тепловизионного контроля для целей промышленной безопасности.

### ABSTRACT

It is showing the results of the thermal control of arc steel furnaces, used as steel companies and in the production of castings. Showing



possibilities of the method for the determination of technical state of stoves and nodes evaluate safe operation. Conclusions are done about the applicability of thermal control for the purpose of industrial safety.

**Ключевые слова:** тепловизионный контроль; металлургическое оборудование.

**Keywords:** thermovision control; metallurgical equipment.

Одним из этапов экспертизы промышленной безопасности технических устройств является техническое диагностирование узлов или элементов конструкций. В большинстве случаев для качественного и всестороннего обследования необходима остановка оборудования, отключение его от коммуникативных сетей и приведение его в состояние, обеспечивающее беспрепятственный доступ ко всем участкам и элементам устройства. Однако, во многих случаях такое отключение не позволяет собрать полной информации о техническом устройстве, т. к. прекращаются, например, термосиловые воздействия и т. п. влияния эксплуатационных параметров на состояние объекта. В подобных ситуациях перспективным являются интегральные методы неразрушающего контроля.

Одним из таких интегральных методов технического диагностирования, который позволяет обследовать всё техническое устройство без нарушения его целостности и работоспособности во время эксплуатации на рабочих параметрах, является тепловизионный контроль (ТК).

Именно возможность проведения технического освидетельствования опасных производственных объектов без исключения их из производственной цепи предопределяет высокую эффективность тепловизионного контроля (термографии) при проведении экспертизы промышленной безопасности. Особенную актуальность данная тематика приобретает при диагностике металлургического оборудования, детали и узлы которого подвергаются значительным тепловым нагрузкам и имеют сложное напряжённо-деформированное состояние.

ООО «Экспертиза» имеет богатый опыт использования термографии как интегрального метода контроля технического состояния металлургического оборудования, в частности дуговых сталеплавильных печей различной ёмкости. В данной статье приведены некоторые примеры, констатирующие эффективность применения тепловизионного контроля при техническом диагностировании частей и узлов сталеплавильных агрегатов в процессе экспертизы [1; 3].

Тепловизионный контроль проводился с помощью инфракрасной камеры FLIR T425 (точность измерения  $\pm 2$  °С или 2 % от измерения).

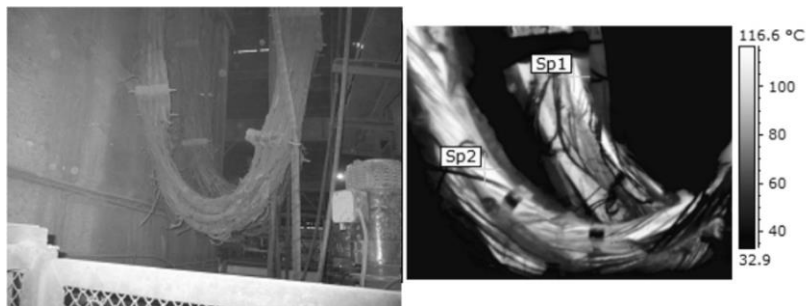
На рисунке 1 представлена картина распределения температурного поля электрододержателей дуговой сталеплавильной печи ёмкостью 10 т. Значительный перегрев в указанном узле сталеплавильного агрегата может привести к возникновению высокого уровня напряжений из-за линейного расширения как в угольном электроде, так и в самом пневматическом электрододержателе, что в критических случаях вызывает поломку электрода и последующую аварийную ситуацию, связанную с прерыванием процесса плавки. В некоторых случаях на печах большого объёма для предотвращения перечисленных последствий применяется водяное оросительное охлаждение электродов. Очевидно, что для обеспечения непрерывной безаварийной работы агрегата необходимо хотя бы периодически контролировать температуру зажимов электрододержателей. В представленном случае (рисунок 1) температура зажима находится на уровне 70 °С при температуре окружающей среды 15 °С, что в данном случае является приемлемым результатом и свидетельствует об отсутствии необходимости в принудительном охлаждении. Кроме того, равномерность температурного поля исследуемого узла и отсутствие мест локального перегрева говорит о хорошем равномерном контакте токопередающих поверхностей, что также положительно влияет на общее техническое состояние печи.



**Рисунок 1. Электрододержатели дуговой сталеплавильной печи ёмкостью 10 т и их термограмма (температура в точке 1—70 °С)**

Особый интерес представляет термографическое обследование токопроводящих элементов и конструкций дуговых печей. Такими

элементами являются: гибкие водоохлаждаемые и неохлаждаемые шинопроводы, электродные медные шины, печные трансформаторы, пускатели и т. п. Тепловизионный контроль перечисленных элементов в процессе работы сталеплавильного агрегата позволяет с максимальной скоростью и точностью определить места и узлы, требующие дополнительного тщательного обследования, ремонта или замены. Например, наличие мест локального перегрева свидетельствует о плохом контакте или износе токопроводящего оборудования.

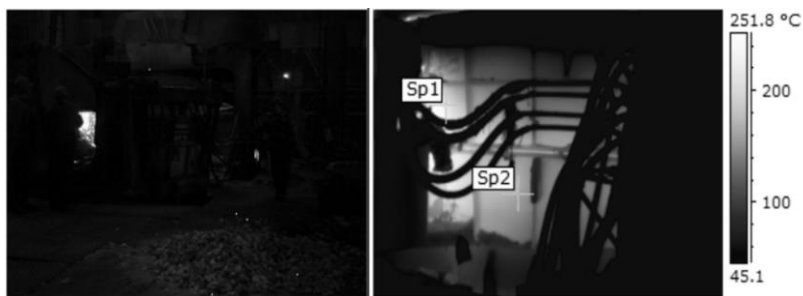


**Рисунок 2. Гибкие шинопроводы дуговой сталеплавильной печи ёмкостью 10 т и их термограмма (температура в точке 1—130 °С, в точке 2—110 °С)**

На рисунке 2 приведено изображение гибкого неохлаждаемого и неизолированного шинопровода дуговой сталеплавильной печи ёмкостью 10 т, визуальный осмотр которого показал наличие значительного количества оборванных прядей. В свою очередь тепловизионный контроль указанного места выявил места значительного перегрева в неповреждённом проходном сечении шины (см. рисунок 2), что связано с увеличением плотности проходящего тока по проводнику за счёт уменьшения его поперечного сечения. В рабочем режиме подогрева сталеплавильной ванны измерение температуры с помощью тепловизора показало следующие результаты: в точке 1—130 °С, в точке 2—110 °С. Очевидно, что в режиме плавления шихты измеренные температуры достигают и больших значений. Следует отметить, что эксплуатация медных шинопроводов при такой температуре и одновременном механическом воздействии может привести к их обрыву, последующему короткому замыканию и пожару, т. е. привести к развитию аварийной ситуации.

Применение термографии открывает большие возможности для технической диагностики и оценки состояния футеровки плавильных

агрегатов. Сложность обследования огнеупорной кладки печей состоит в том, что его можно провести только на холодном агрегате во время длительного простоя. Точность такого обследования будет крайне невелика, так как визуальный контроль не позволит выявить мелких нарушений сплошности кладки и нарушения её герметичности. На рабочих параметрах сталеплавильного агрегата тепловизор позволяет увидеть распределение температурного поля по поверхности кожуха печи, при этом наличие мест локального перегрева с высокой долей вероятности указывает на имеющиеся несовершенства футеровки, требующие «горячего» или даже «холодного» ремонта. Очевидно, что имеющийся нерегламентированный перегрев элементов кожуха приводит к развитию деградационных процессов в материале и потере необходимых механических свойств с последующими разрушениями или деформациями. Это свидетельствует о важности подобных обследований и выдвигает требования по их периодичности. К сожалению, на данном этапе не все хозяйствующие субъекты металлургической промышленности готовы прибегать к столь частым проведениям тепловизионной диагностики основного оборудования, что оборачивается для них повышенными рисками формирования и развития потенциальных аварийных ситуаций.

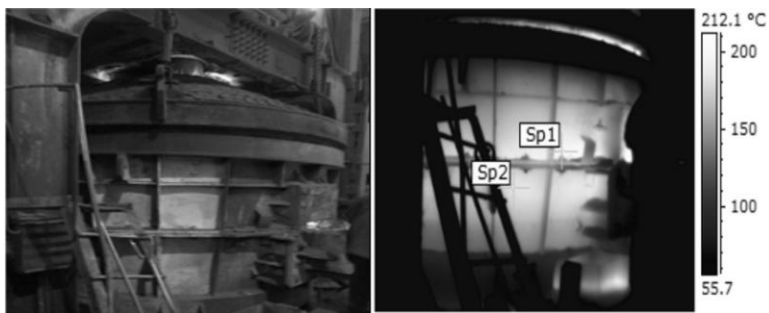


**Рисунок 3. Кожух дуговой сталеплавильной печи ёмкостью 10 т (съёмка с правой стороны) и термограмма обследуемого участка (температура в точке 1—215 °С, в точке 2—160 °С)**

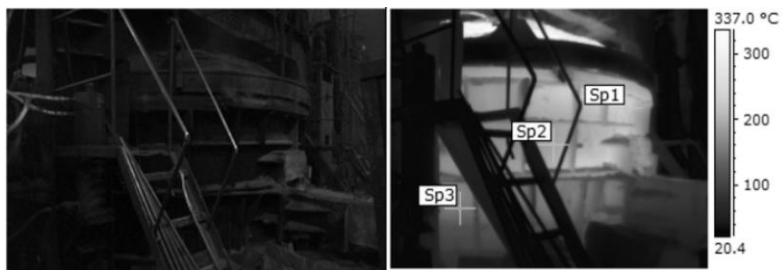
На рисунках 3—5 представлены примерные термограммы кожухов дуговых сталеплавильных печей малой ёмкости. Возможность одновременного анализа температурного поля всего сталеплавильного агрегата является неоспоримым преимуществом тепловизионного контроля и позволяет в кратчайшие сроки прямо на месте сделать

выводы о состоянии огнеупорной кладки как плавильных печей, так и сталеразливочных ковшей.

В некоторых случаях удастся также сделать выводы о состоянии сварных швов кожухов, наличии в них непроваров или иных дефектов, так как подобные нарушения сплошности соединения отражается в распределении температурного поля. Как правило, последующая ультразвуковая дефектоскопия сварного шва, забракованного по результатам термографического контроля, подтверждает наличие скрытых дефектов, что говорит о высокой диагностической точности выбранного метода.



**Рисунок 4.** Кожух дуговой сталеплавильной печи ёмкостью 10 т (съёмка со стороны выпуска) и термограмма обследуемого участка (температура в точке 1—200 °С, в точке 2—180 °С)



**Рисунок 5.** Кожух дуговой сталеплавильной печи ёмкостью 5 т (съёмка со стороны выпуска) и термограмма обследуемого участка (температура в точке 1—220 °С, в точке 2—190 °С, в точке 3—150 °С)

Анализируя значения температуры на представленных термограммах можно сделать выводы о состоянии футеровки, в частности

о наличии сильной локальной эрозии. К примеру, на рисунках 4 и 5 видно, что с приближением к выпускному жёлобу температура кладки возрастает, что свидетельствует об её износе, так как на практике толщина кладки в зоне выпуска всегда делается больше по сравнению боковыми внутренними поверхностями плавильного пространства. Факт значительного износа огнеупорной кладки печи в зоне выпускного жёлоба подтвердился визуальным осмотром «холодной» печи.

Кроме того, высокая температура поверхностей сталеплавильных агрегатов является нарушением требований п. 3.13 «Общих правил безопасности для металлургических и коксохимических предприятий и производств» (ПБ 11-493-02), согласно которым температура поверхности технических устройств не должна превышать 45 °С [2].

Наиболее высокая температура элементов дуговых печей наблюдается на поверхности свода, что связано с частыми нарушениями сплошности их огнеупорной кладки, механическими воздействиями и вибрацией. На рисунке 6 представлена термограмма свода печи ёмкостью 5 т, из которой видно, что температура поверхности в некоторых местах превышает 360 °С. Данный факт свидетельствует о низкой энергоэффективности плавки, неисправном экономайзере печи и необходимости замены сводовой футеровки. Также следует обратить внимание на температуру элементов подвески свода, так как их длительная эксплуатация при высоких температурах может привести к явлению вакансионной ползучести, деформации и изменению механических характеристик, что негативно скажется на технологическом процессе и приведёт к возникновению потенциальной аварийной ситуации.



**Рисунок 6. Свод дуговой сталеплавильной печи ёмкостью 5 т и термограмма обследуемого участка (температура в точке 1—360 °С)**

Оценка энергоэффективности технологических процессов (в частности оценка тепловых потерь и эффективности охлаждения элементов печи) значительно облегчается с помощью термографических методов

контроля, применение которых позволяет в несколько раз сократить временные и материальные ресурсы при проведении подобных работ. К примеру, анализ работоспособности и эффективности системы охлаждения дуговых печей проводится также в рамках тепловизионного контроля состояния технического устройства и его элементов.

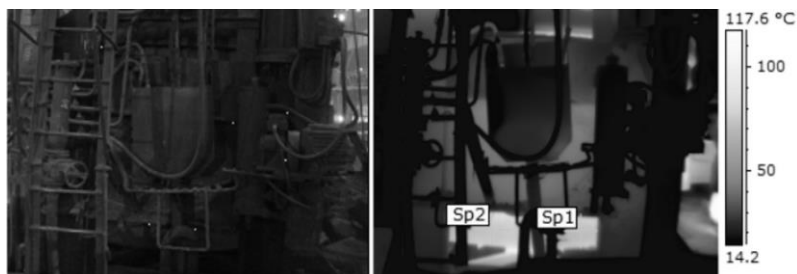
На рисунках 7—9 представлены термограммы, снятые специально для определения температуры водоохлаждаемых элементов дуговых сталеплавильных печей малой ёмкости (5 и 10 т). Обследуемые печи имеют водоохлаждаемое сводовое кольцо и водоохлаждаемую заслонку загрузочного окна, приводимую в движение с помощью электро-механического привода. Также отметим, что на этих печах отсутствует система контроля температуры охлаждающей жидкости и аварийная сигнализация превышения температуры выше заданного уровня (имеется лишь сигнализация падения давления в охлаждающем контуре).

Анализируя рисунок 7, можно сделать вывод о высокой эффективности системы охлаждения как сводового кольца, так и заслонки загрузочного окна. Дальнейший визуальный осмотр не выявил наличия видимых течей жидкости из элементов системы охлаждения. Температура охлаждающей воды по результатам измерения находилась в пределах 35 °С, что является вполне удовлетворительным результатом, обеспечивающим естественное функционирование сталеплавильной печи и нормальное протекание технологического процесса.

Из рисунка 7 является очевидным фактом температурное воздействие на элементы электро-механического привода заслонки загрузочного окна (электродвигатель, муфта, редуктор и цепь), что может привести к нарушениям в его работе или аварийному отказу. На первый взгляд возникает необходимость в создании и применении специального теплового экрана, но термографическое обследование показало, что значительного перегрева привода не происходит, температура его элементов не достигает 40 °С, а значит внедрение новых элементов в конструкцию узла не требуется.



**Рисунок 7.** Загрузочное окно и его привод дуговой сталеплавильной печи ёмкостью 10 т и термограмма обследуемого участка (температура в точке 1—140 °С, в точке 2—230 °С, в точке 3—190 °С)



**Рисунок 8.** Водосборная гребёнка и элементы гидропривода подъёма свода дуговой сталеплавильной печи ёмкостью 5 т и термограмма обследуемого участка (температура в точке 1—72 °С, в точке 2—75 °С)

На рисунке 8 представлена термограмма водосборной гребёнки системы охлаждения печи и гидроцилиндра системы подъёма свода, которые закрепляются на кожухе ДСП ёмкостью 5 т. В водосборную гребёнку поступает вода, прошедшая по всему контуру охлаждения, и теоретически она должна иметь самую высокую температуру. Тепловизионная съёмка указанного участка не выявила каких-либо превышений в температуре как охлаждающей жидкости, так и элементов печи её содержащих (измеренная температура не превышает 35 °С). В результате этой же съёмки было подтверждено отсутствие температурного воздействия на элементы гидропривода печи (температура верхней головки гидроцилиндра подъёма свода не превышает 30 °С), несмотря на то, что температура поверхности кожуха достигает 75 °С.



На рисунке 9 представлен результат обследования с помощью тепловизионного метода, который свидетельствует о нарушении в работе системы охлаждения печи.

Термографическая съёмка общего фронтального вида выявила значительную неравномерность температурного поля водоохлаждаемого сводового кольца и нижней части заслонки загрузочного окна, а также локальный перегрев водоподводящих шлангов к указанным элементам. Всё это говорит о наличии течи охлаждающей жидкости или её застое по причинам сниженной проходимости трубопроводов из-за внутренней коррозии. Таким образом, тепловизионная съёмка выявила необходимость в более тщательном обследовании сводового кольца другими методами, в частности ультразвуковой толщинометрией и визуальным осмотром на «холодной» печи. Этими методами далее выявили несколько имеющихся течей охлаждающей жидкости и значительный коррозионный износ трубопровода сводового кольца. Следует отметить, что на рабочих параметрах подобные дефекты невозможно было определить обычными методами, так как из-за высокой температуры видимые течи воды быстро испаряются и не могут быть замечены при обычном осмотре.



**Рисунок 9. Общий вид дуговой сталеплавильной печи ёмкостью 10 т и её термограмма (температура в точке 1—165 °С, в точке 2—150 °С, в точке 3—150 °С)**

Приведённые примеры применения тепловизионного контроля и анализа полученных термограмм свидетельствуют о его высокой эффективности и позволяют рекомендовать термографический метод в качестве основного интегрального метода контроля при диагностировании металлургического оборудования. Следует также отметить его современность и инновационность, что отвечает всё возрастающим требованиям промышленной безопасности и энергосбережения.

Тепловизионный контроль обладает целым рядом значительных преимуществ перед другими методами неразрушающего контроля оборудования, подверженного значительным тепловым нагрузкам. Среди них можно выделить оперативность и простоту, как процесса обследования, так и процесса анализа полученных результатов, отсутствие необходимости длительного простоя оборудования для проведения технической диагностики и экспертизы промышленной безопасности.

Для предприятий чёрной металлургии, имеющих сталеплавильные агрегаты малой ёмкости с большим сроком эксплуатации и отсутствием системы контроля температуры водоохлаждаемых элементов и пода печи, применение тепловизионного контроля для целей технической диагностики позволяет без значительных затрат на внедрение средств контроля, регистрации и автоматизации оптимизировать работу ремонтных служб и сократить материально-временные затраты на текущие и капитальные ремонты основного оборудования.

### **Список литературы:**

1. Гевлич С.О., Макарова Н.В., Пегишева С.А. Применение тепловизионного метода для исследования состояния миксеров. *Металлург*, — 2010, — № 7. — с. 65—66.
2. ПБ 11-493-02. «Общие правила безопасности для металлургических и коксохимических предприятий и производств».
3. Gevlich S.O., Gevlich D.S., Makarova N.V. et al. «Thermal diagnostics of metallurgical equipment» — В сб. «2nd International scientific conference «European Applied Science: modern approaches in scientific researches» 18—19th February, 2013, volume 3, — p. 79—81.

## ДЕГРАДАЦИЯ ТРУБ ПРИ ТЕПЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

**Гевлич Сергей Олегович**

канд. техн. наук, технический директор ООО «Экспертиза»,  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [sgevlich@mail.ru](mailto:sgevlich@mail.ru)

**Гевлич Дмитрий Сергеевич**

канд. техн. наук, директор ООО «Экспертиза»,  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Бабяк Татьяна Геннадьевна**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Васильев Константин Александрович**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Макарова Надежда Васильевна**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Мирзонов Максим Владимирович**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

## DEGRADATION OF PIPES WITH HEAT IMPACT

**Sergey Gevlich**

*candidate of Technical Sciences, Technical Director LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Dmitry Gevlich**

*candidate of Technical Sciences, Director LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Tatiana Babiac**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Constantin Vasilev**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Nadejda Makarova**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

**Maksim Mirzonov**

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

### АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты исследования котловых труб после длительной эксплуатации. Показано изменение первичной микроструктуры, выявлено обезуглероживание с наружной поверхности. Предложен метод расчета ресурса с учетом структурных изменений.

### ABSTRACT

The article presents results of research of boiler tubes after prolonged use. Demonstrates how to change the primary microstructure revealed decarburization on the outside surface. A method for calculating resource, taking into account the structural changes is discussed.

**Ключевые слова:** котловые трубы; коррозия; обезуглероживание.  
**Keywords:** boiler tubes; corrosion; decarbonisation.

Рассмотрим пример, часто встречающийся экспертной практике, требующий дифференциального подхода к определению доминирующего повреждающего механизма (ДПМ). Это котловые трубы: экранные, конвективные пучки, а также паропроводы, т. е. устройства, находящиеся под действием относительно невысоких температур. Анализируя доминирующие механизмы повреждаемости, можно выделить три основных процесса: коррозия изнутри и коррозия под тепловой изоляцией (для паропроводов), газовая коррозия котловых труб, деградация механических свойств и структуры в результате длительного теплового воздействия. Остановимся на коррозионных процессах и попытаемся оценить, какой из них доминирующий.

С точки зрения промышленной безопасности трубный пучок любого котлоагрегата должен обеспечить выполнение главной первоначальной функции — сохранить герметичность в течение всего срока эксплуатации до наступления предельного состояния. Следовательно, все физико-химические процессы взаимодействия металла с паром или горячей водой должны быть ограничены по скорости коррозии, по вероятному деградационному воздействию и т. п.

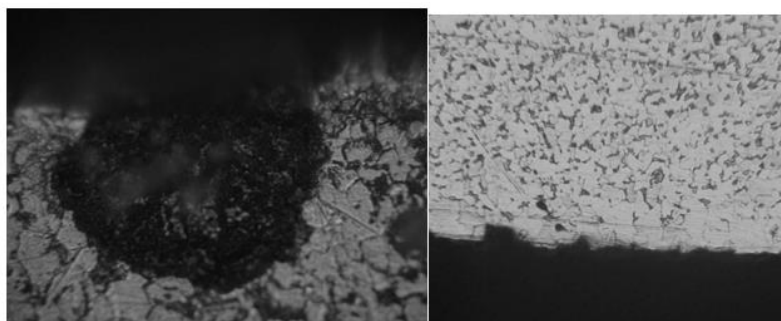
На рис. 1. показана наружная поверхность участка котельных труб, находившегося в эксплуатации более 20 лет. Видно, что поверхность покрыта продуктами газовой коррозии (окалина), толщина которых в некоторых местах более 0,5 мм. В то же время имеются участки, не претерпевшие сильного окисления.



**Рисунок 1. Общий вид котлового пучка труб**

На рис. 2 приведены микроструктуры трубы. На внутренней поверхности имеются язвы глубиной до 0,5 мм и более мелкие многочисленные язвы глубиной менее 0,3 мм. Происхождение

их очевидно — это результат взаимодействия стали с водой при повышенных температурах. На наружной поверхности тоже видны язвы, которые образовались вследствие локального уноса металла в результате окисления. В данном случае интерес представляет зона обезуглероживания, представленная почти чистым ферритом. Размер этой зоны достигает в отдельных местах до 0,5—0,6 мм. В целом же микроструктура традиционна для малоуглеродистой стали и представлена феррито-перлитной смесью с соотношением фаз 80/20 % соответственно.



а) x500

б) x400

**Рисунок 2. Внутренняя (а) и наружная (б) поверхности трубы**

Если для оценки влияния язв, можно воспользоваться приведенным в [2] алгоритмом, то оценить критичность образования обезуглероженного слоя затруднительно. Для этой цели можно предложить следующую методику.

Представим себе металл трубы (отработавший долгое время при повышенной температуре) как композиционный материал, состоящий из обычной феррито-перлитной стали (например, типа Ст20) и второй компонент — малоуглеродистая сталь типа Ст08. Очевидно, что чем больше толщина обезуглероженного слоя, тем меньше прочность такого композита. Для приблизительного анализа можно использовать данные, приведенные на рис.3 и правило аддитивности [1]:

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_1 V_1 + \sigma_2 V_2 \quad (1),$$

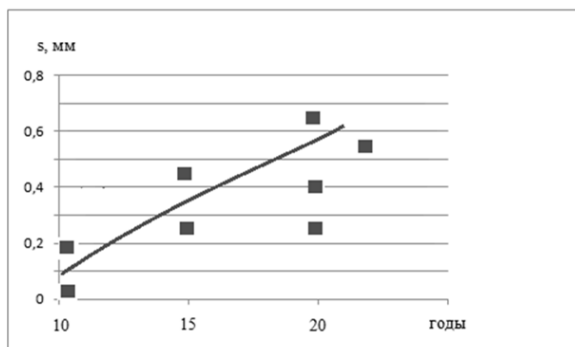
где:  $\sigma_1 V_1$  — прочность и объемная доля первого компонента композита,

$\sigma_2 V_2$  — прочность и объемная доля второго компонента композита.

Так, для примера трубы из стали 09Г2С ( $\sigma_{0,2} = 310$  МПа) с толщиной стенки 3,5 мм и обезуглероженным слоем до 1,5 мм, принимая, что структура примерно соответствует стали типа Ст08, получим  $\sigma_\Sigma = 310 * 0,43 + 190 * 0,57 = 260$  МПа. В этом примере принят предел текучести стали соответствующий ГОСТу. Требования ГОСТов, как правило, ограничивают минимальные значения механических свойств, т. е. свойства должны быть не ниже указанных в соответствующем стандарте. Следовательно, эти нормативные значения могут рассматриваться как критерии предельных состояний. Для описываемого процесса критерий предельного состояния можно записать в виде простого неравенства:

$$\sigma_{0,2}^{\text{факт}} \geq \sigma_{0,2}^{\text{ГОСТ}} \quad (2)$$

Полагая, что окисление и обезуглероживание имеют место всегда при эксплуатации котлоагрегатов, наличие ферритной прослойки должно учитываться при анализе предельных состояний этого оборудования в процессе экспертизы. Наши измерения толщины ферритной прослойки в зависимости от длительности эксплуатации приведены на рис. 3. Несмотря на достаточно малые величины  $S$  это нельзя игнорировать, т. к. трубы котлоагрегатов чаще всего имеют толщины стенок в пределах 3—5 мм, а глубина ферритной прослойки может достигать до 10—12 % от номинальной толщины.



**Рисунок 3. Изменение толщины обезуглероженного слоя в зависимости от продолжительности эксплуатации котельных труб**

Следовательно, при анализе возможных доминирующих повреждающих механизмов обезуглероживание должно быть учтено как возможный ДПМ. Если в процессе технического диагностирования котловых труб из малоуглеродистых и низколегированных сталей, методами полевой металлографии, или репличной, или каким-либо еще способом будет обнаружено обезуглероживание, то можно предложить для оценки ресурса следующий алгоритм анализа.

Рассматривается труба из стали типа Ст20, (толщина стенки 3,5 мм) отработавшая при температуре 200 °С в течение 12 лет. В этом примере приняты следующие допущения: обезуглероживание соответствует структуре стали типа Ст08; значение  $\sigma_{0,2}^{\text{ГОСТ}} = 245$  МПа для стали Ст20.

Исходные механические свойства в соответствии с приведенным в паспорте котла сертификатом таковы  $\sigma_b = 453$  МПа;  $\sigma_{0,2} = 284$  МПа;  $\delta = 26$  %;  $\varphi = 51$  %. В результате испытаний установлены следующие механические свойства:  $\sigma_b = 378$  МПа;  $\sigma_{0,2} = 250$  МПа  $\delta = 17$  %;  $\varphi = 48$  %, толщина обезуглероженного слоя  $s = 0,8$  мм. Используя формулу (5) получим  $\sigma_{\Sigma} = 190 \cdot 0,23 + 284 \cdot 0,78 = 265,22$  МПа. Понимая, что обезуглероживание — диффузионный процесс (см. рис. 3) и описывается степенными полиномами, тем не менее, для простоты оценки примем линейную зависимость снижения прочностных характеристик от времени. В этом случае, «скорость разупрочнения»  $w_p = (284 - 265)/12 = 1,58$  МПа/год. Тогда достижение критерия (6) т. е. остаточный ресурс по принятому критерию получим  $t_{\text{ост}} = (265 - 245)/1,58 = 12,6$  года. Таким образом, для случая обезуглероживания кинетическое уравнение можно записать в следующей форме:

$$t = \Delta\sigma_{0,2} / w_p, \quad (3)$$

где:  $\Delta\sigma_{0,2}$  — величина потери предела текучести, рассчитываемая по формуле  $\Delta\sigma_{0,2} = \sigma_{\Sigma} - \sigma_{0,2}^{\text{ГОСТ}}$  для фактической марки стали трубы (объекта);

$w_p$  — «скорость разупрочнения», МПа/год.

Если при диагностировании установлено, что коррозионные утонения незначительны, язвенная коррозия не выявлена, то доминирующим механизмом может быть простое обезуглероживание трубной стали, при этом ресурсная оценка может проводиться по приведенному выше уравнению (3). Необходимым элементом диагностирования в этом случае является металлографический анализ. Предлагаемый подход универсален с точки зрения объекта экспертизы. Его можно применять как для труб, так и для барабанов котла, для других объектов,



работающих при повышенной температуре в окислительной атмосфере (шагающие балки печей для нагрева заготовок под прокат, змеевики трубчатых печей и т. п.). Учет нового повреждающего механизма — обезуглероживание, позволяет скорректировать диагностические процедуры, внести новые методы контроля. Таким образом, сама оценка пригодности (включая ресурсные оценки) становится более объективной.

При таком подходе может получиться более консервативной оценка по коррозионным критериям, особенно при наличии коррозионных язв. Тогда, соответственно, именно этот механизм должен быть принят в качестве доминирующего, а ресурсные расчеты следует выполнить так, как предложено в предыдущем разделе.

### **Список литературы:**

1. Композиционные материалы. В 8-ми томах. Т. 1. Поверхности раздела в металлических композитах.: пер. с англ.: ред. Л. Браутман, Р. Крок, А. Меткалф., М.: Мир, 1978. — 438 с.
2. Ресурсные оценки оборудования, работающего под тепловой нагрузкой.: ред. Гевлич С.О., М.: Metallurgizdat, 2015. — 187 с.

## ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ И ГОРОДСКИХ ВОДОПРОВОДОВ

**Гевлич Сергей Олегович**

канд. техн. наук, технический директор ООО «Экспертиза»,  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [sgevlich@mail.ru](mailto:sgevlich@mail.ru)

**Гевлич Дмитрий Сергеевич**

канд. техн. наук, директор ООО «Экспертиза»,  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Васильев Константин Александрович**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Макарова Надежда Васильевна**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

**Мирзонов Максим Владимирович**

эксперт ООО «Экспертиза»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [promexpertiza@mail.ru](mailto:promexpertiza@mail.ru)

## DIAGNOSIS OF HEAT NETWORKS AND URBAN WATER SUPPLY

*Sergey Gevlich*

*candidate of Technical Sciences, Technical Director LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

*Dmitry Gevlich*

*candidate of Technical Sciences, Director LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

*Constantin Vasilev*

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

*Nadejda Makarova*

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

*Maksim Mirzonov*

*expert LLC “Expertiza”,  
Russia, Volgograd*

### АННОТАЦИЯ

В работе представлена методика расчета остаточного ресурса трубопроводов для систем теплоснабжения и водоснабжения при подземной прокладке. Показано, что доминирующим повреждающим механизмом является язвенная коррозия. Приведены примеры расчета труб, имеющих язвенные повреждения. Предлагаемый метод дает более консервативные результаты, чем стандартные решения по коррозионным картам.

### ABSTRACT

Presents the method of calculating the residual life of pipelines for heating systems and water supply in the underground. It is shown that dominant damaging mechanism is ulcer corrosion. Examples of calculation of pipe with ulcer damage. The proposed method gives more conservative results than standard solutions for corrosive cards.

**Ключевые слова:** коррозия; остаточный ресурс; диагностика.

**Keywords:** corrosion; residual resource; diagnostics.

Проблемой мегаполисов и большинства городских поселений является устойчивое функционирование систем жизнеобеспечения. Среди этих систем тепло- и водоснабжение — объекты, подконтрольные Ростехнадзору. Для них проводится экспертиза промышленной безопасности, цель которой определить как техническое состояние трубопровода в целом, так и оценка остаточного ресурса. Последняя величина важна для коммунальных служб для формирования своевременного ремонтного обслуживания, что в городских условиях всегда представляет заметные трудности и неудобства.

С точки зрения наиболее вероятных ДПМ, ситуация с металлическими трубами кажется очевидной — это коррозия. Коррозия приводит к утонению стенки трубопровода до отбраковочной величины  $S_{отб}$ . Следовательно, ресурсом будет временной промежуток, в течение которого стенка трубы (оболочки, работающей под давлением) утонится до отбраковочной.

Критерием предельного состояния при таком ДПМ является условие прочности [3]:

$$[\sigma] \geq \sigma_d, \quad (1)$$

где  $\sigma_d$  — действующее напряжение в стенке сосуда;

$$\sigma_d = \frac{2 \cdot \phi \cdot P_d \cdot S}{D + S}, \quad (2)$$

$[\sigma]$  — допускаемое напряжение, рассчитываемое из условия минимума отношений  $\min \{ \sigma_{0,2}/1,5; \sigma_B/2,5 \}$

Обозначения в формуле:

$\phi$  — коэффициент прочности сварного шва;

$P_d$  — допускаемое давление;

$D$  — диаметр сосуда;

$S$  — толщина стенки.

Следовательно, условие (1) должно выполняться до тех пор, пока фактическая толщина стенки сосуда  $S_\phi$  будет не меньше значения  $S_{отб}$ , рассчитанного из формулы (2). Предположим, что замеры толщины стенки при диагностировании проводятся через время  $T$  после начала эксплуатации и получены значения толщины  $S_{отб}$ .

Скорость коррозии  $w_k = \Delta S/T$ , (где  $\Delta S = S_\phi - S_{отб}$ ) с размерностью мм/год.

Полученная величина  $w_k$  позволяет оценить остаточный ресурс следующим образом:  $t = \Delta S / w_k$

Это, по сути, кинетическое уравнение для оценки ресурса в условиях общей коррозии.

В [3] подробно описан этот подход и для случаев повторного диагностирования. Этим критерием часто пользуются при экспертизе различных оболочек работающих под давлением, не только сосудов. Однако при всей очевидности этот подход неоднозначен. К примеру, сравнение толщин проводится по отношению к номинальной толщине, указанной в паспорте объекта. Но исполнительная толщина стенки всегда отличается на величину прокатного допуска. И это отличие может быть существенным. Следовательно, все значимые утонения стенки в пределах минусового допуска не являются достоверными коррозионными утонениями. А измеренный «прирост» толщины является лишь возможным плюсовым допуском данного листового проката. При первой диагностике чаще всего невозможно определить величину  $t$  расчетным путем. Остаточный ресурс по критерию (1) может быть рассчитан более или менее корректно, когда известна фактическая скорость коррозии, т.е. после повторной диагностики через какое-то время. Несмотря на это, в практике считают величину  $t$  и в первое обследование, делая при этом *оценочный прогноз*, а не расчет. Следовательно, даже в таком простом относительно случае, чаще всего имеет место *оценочная* величина ресурса, а не точная цифра.

Подобный подход должен быть изменен в тех случаях, когда имеет место язвенная коррозия. «Болезнь» та же — коррозия, но «симптом» несколько иной, а именно локальный унос металла. Формула (2) применима для оболочек, нагруженных внутренним давлением, с постоянной по диаметру толщиной стенки [2]. Если же имеется локальный унос металла в виде язвы одиночной или группы язв, то симметричность эпюры напряжений нарушается, возникает локальное перенапряжение.

Для наглядности на рис. 1. показана фотография поверхности трубы с типичными язвами в поле общего коррозионного износа тепловой трубы. На рис. 3 показано типичное разрушение тепловой трубы, вызванное совместным влиянием коррозионного утонения стенки и язвенной коррозии.

Для разработки методики кинетической оценки влияния язвенной коррозии воспользуемся рекомендациями работы [4]. Для простоты рассмотрим влияние одиночной язвы.

Язва имеет следующие геометрические параметры:  $a$  — глубина;  $c$  — ширина,  $d$  — длина.

Основные уравнения (алгоритм расчета):

1. Номинальное напряжение – напряжение в стенке от рабочего давления

$$\sigma_n = \frac{P(D+s)}{2\phi s}, \quad (\text{см. аналог 2})$$

2. Максимальное напряжение в вершине дефекта

$$\sigma_{\max} = \alpha_\sigma \sigma_{\text{нетто}}, \quad (3)$$

где:  $\sigma_{\text{нетто}} = \sigma_n s / (s - a)$  — напряжение в нетто-сечении (сечение, где находится язва);

$\alpha_\sigma$  — коэффициент концентрации напряжений.

3. Определение коэффициента концентрации напряжений. Для одиночных язв выражение для коэффициента концентрации имеет вид:

$$\alpha_\sigma = 1 + 3,57 \frac{a}{d} \left[ \frac{(1,12 - 0,9a/c)}{1 - a/s(1 - 1,5a/c)} \right], \quad (4)$$

где: a, d, c, — параметры язвы,

s — толщина стенки

4. Условие допустимости дефекта. Дефект (язва) считается неопасным, если выполняется следующее условие:

$$\sigma_{\max} < [\sigma], \quad (5)$$

где  $[\sigma]$  — допускаемое напряжение, полученное либо расчетным методом, либо взятое из ГОСТа [2].

Методика оценки остаточного ресурса оболочек, работающих под давлением или под наливом, с учетом язвенной коррозии представляет набор стандартных процедур, применяемых при неразрушающем контроле сосудов давления. Проводятся визуальный осмотр, визуально-измерительный контроль, ультразвуковая толщинометрия, УЗД и другие измерения, предусмотренные соответствующими программами. Упор делается на определение наличия и геометрии язв. Далее, проводится обычный прочностной поверочный расчет по фактически измеренным толщинам. В случае положительного решения остаточный ресурс рассчитывается по формулам,

приведенным в [3] для случая равномерной коррозии. Перенапряжение в результате наличия одиночных или групповых язв оценивается по приведенным выше формулам. Критическим или отбраковочным дефектом признается такой, при котором условие (5) становится равенством. Такие участки подлежат ремонту. Если же условие (5) выполняется, то ресурс рассчитывается исходя из геометрии критического дефекта, которая будет достигнута за время  $t_{ост}$  учитывая следующее допущение: скорость коррозии одинакова для общего коррозионного износа и для язвенной коррозии.



**Рисунок 1. Язвенная коррозия на наружной поверхности тепловой трубы**



**Рисунок 2. Внутренняя поверхность трубы для подачи воды**



**Рисунок 3. Разрушение тепловой трубы в результате совместного действия общей и язвенной коррозии**

Кинетическое уравнение для определения остаточного ресурса будет иметь вид:  $t = \Delta_{a,d,c} / w_k$ , где  $\Delta_{a,d,c}$  — приращение геометрических размеров язвы от фактически измеренных до критических, обеспечивающих перевод неравенства (5) в равенство,  $w_k$  — скорость коррозии.

Для иллюстрации приведем выдержки из заключений экспертизы серии водяных труб, которые были обследованы в 2009—2010 гг. в Волгограде [1]. Общий вид (изнутри) подающей трубы городского водопровода (аналогично выглядит подающая труба тепловой сети) показан на рис. 2. Измерения проводились в местах удаления продуктов коррозии.

В таблицах 1—3 приведены расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) труб с выявленными язвами

**Таблица 1.**

**Расчет трубы  $\varnothing 1020 \times 12$**

№ п/п	Наименование параметра	Значение
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
1	Рабочее давление в трубе $P_{max}$ , МПа	0,8
2	Номинальный диаметр трубы $D$ , м	1,02
3	Номинальная толщина стенки $s$ , м	0,012
4	Фактическая толщина стенки с учетом статистического разброса $s_{ф}$ , м	0,00853



5	Глубина язвы $a_{\max}$ , м	0,0025
6	Длина язвы $c$ , м	0,05
7	Ширина язвы $d$ , м	0,04
8	Номинальные (рабочие напряжения в стенке) $\sigma_n$ , МПа	60,29
9	Напряжения нетто $\sigma_{\text{нетто}}$ , МПа	85,28
10	Коэффициент концентрации напряжений, $\alpha_\sigma$	1,33
11	Максимальное напряжение в вершине дефекта, $\sigma_{\max}$ , МПа	113,53
12	Условие допустимости дефекта (4)	выполняется

Таблица 2.

### Расчет трубы $\varnothing 1020 \times 12$

№ п/п	Наименование параметра	Значение
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
1	Рабочее давление в трубе $P_{\max}$ , МПа	0,8
2	Номинальный диаметр трубы $D$ , м	1,02
3	Номинальная толщина стенки $s$ , м	0,012
4	Фактическая толщина стенки с учетом статистического разброса $s_f$ , м	0,01064
5	Глубина язвы $a_{\max}$ , м	0,0030
6	Длина язвы $c$ , м	0,045
7	Ширина язвы $d$ , м	0,04
8	Номинальные (рабочие напряжения в стенке) $\sigma_n$ , МПа	48,43
9	Напряжения нетто $\sigma_{\text{нетто}}$ , МПа	67,45
10	Коэффициент концентрации напряжений, $\alpha_\sigma$	1,38
11	Максимальное напряжение в вершине дефекта, $\sigma_{\max}$ , МПа	93,10
12	Условие допустимости дефекта (4)	выполняется

Таблица 3.

### Расчет трубы $\varnothing 820 \times 10$

№ п/п	Наименование параметра	Значение
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
1	Рабочее давление в трубе $P_{\max}$ , МПа	0,8
2	Номинальный диаметр трубы $D$ , м	0,82
3	Номинальная толщина стенки $s$ , м	0,010
4	Фактическая толщина стенки с учетом статистического разброса $s_f$ , м	0,00904
5	Глубина язвы $a_{\max}$ , м	0,0025
6	Длина язвы $c$ , м	0,055

7	Ширина язвы $d$ , м	0,04
8	Номинальные (рабочие напряжения в стенке) $\sigma_n$ , МПа	45,85
9	Напряжения нетто $\sigma_{\text{нетто}}$ , МПа	63,38
10	Коэффициент концентрации напряжений, $\alpha_\sigma$	1,32
11	Максимальное напряжение в вершине дефекта, $\sigma_{\text{max}}$ , МПа	83,94
12	Условие допустимости дефекта (4)	выполняется

Таким образом, существующие язвы пока не являются опасными дефектами, которые могут привести к потере герметичности трубы или служить местом, инициирующим масштабное разрушение.

Оценка остаточного ресурса по [3] с учетом расчетной скорости коррозии приведена в таблице 4.

**Таблица 4.**

#### Расчет остаточного ресурса

№ точек по протоколу УЗТ*	$t$ лет	$\delta_{n(t)}$ мм	$\delta_{\text{факт}}$ мм	$\delta_{\text{отб}}$ мм	$v_{\text{корр.}}$ мм/год	$D_n$ мм	$T_{\text{остат.}}$ лет.
1	16	12	8,76	4,00	0,20	1020	23,51
3	16	12	7,95	4,00	0,25	1020	15,60
9	16	12	8,3	4,00	0,23	1020	18,59
22	16	10	8,76	4,00	0,08	820	61,42
27	16	10	8,81	4,00	0,07	820	64,67
29	16	10	8,56	4,00	0,09	820	50,67
30	16	12	9,23	4,00	0,17	1020	30,21
32	16	12	9,75	4,00	0,14	1020	40,89

\* УЗТ — ультразвуковая толщинометрия

Учет наличия язв на трубе  $\varnothing 820 \times 10$  показал, что условие (5) перестает выполняться уже через 20 лет (против 50—60 лет по обычному расчету см. таблицу), а для трубы  $\varnothing 1020 \times 12$  условие (5) перестанет выполняться уже через 9 лет. Для этих оценок в качестве отбраковочных размеров использованы параметры язвы, обеспечивающие превращение неравенства (5) в равенство, при условии  $v_{\text{корр}} = \text{const}$  во всех направлениях и во времени. Сказанное означает, что в данном примере расчет велся при  $v_{\text{корр}} = 0,22$  мм/год по направлениям глубины, длины и ширины язвы.

Дефекты становятся опасными, если при сохранении скорости коррозии (примерно 0,2 мм/год изнутри) и сохранении подобия самой геометрии язвы, эксплуатация будет продолжаться в пределах 10 лет.

Таким образом, в отличие от существующей практики оценки ресурса объектов, эксплуатирующихся в условиях коррозионных утонений стенки, по величине отбраковочной толщины стенки, в разработанной методике прочностной расчет ведется по величине «критического» дефекта (другой «симптом»), а кинетическое уравнение представляет собой временную линейную связь скорости роста существующего дефекта до критического размера.

Получаемые значения остаточного ресурса более консервативные, следовательно, более предпочтительные для целей оценок промышленной безопасности.

### Список литературы:

1. Васильев Е.Г., Гевлич С.О. О техническом состоянии труб тепловых сетей и сетей ГВС. // Технадзор., Екатеринбург., — 2013. — № 12. — с. 74—76.
2. ГОСТ 14289. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
3. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов. РД 03-421-01. М.: ГУП Промышленная безопасность., 2004. — 241 с.
4. Мурзаханов Г.Х., Быстрова Н.А.. Методы оценки остаточного ресурса трубопроводов. М.: СертиНК., 2008. — 104 с.

## ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА НА ПРИМЕРЕ ХРАНИЛИЩА ЕДКОГО НАТРИЯ

**Нестратов Михаил Юрьевич**

канд. техн. наук, технический директор ООО «Альянс-Эксперт»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [alians-ekspert@mail.ru](mailto:alians-ekspert@mail.ru)

**Ребров Вячеслав Валерьевич**

начальник экспертного отдела ООО «Альянс-Эксперт»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [alians-ekspert@mail.ru](mailto:alians-ekspert@mail.ru)

**Смирнов Юрий Юрьевич**

эксперт ООО «Альянс-Эксперт»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [alians-ekspert@mail.ru](mailto:alians-ekspert@mail.ru)

**Тян Андрей Александрович**

инженер ООО «Альянс-Эксперт»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [alians-ekspert@mail.ru](mailto:alians-ekspert@mail.ru)

**Попов Дмитрий Валентинович**

эксперт ООО «Альянс-Эксперт»  
РФ, г. Волгоград  
E-mail: [alians-ekspert@mail.ru](mailto:alians-ekspert@mail.ru)

## EXAMINATION EXECUTION OF STORAGE PLANT SAFETY BY THE EXAMPLE OF SODIUM HYDROXIDE RESERVOIR

**Mikhail Nestratov**

*candidate of Technical Sciences, Technical Manager  
of LLC “Alliance-Expert”,  
Russia, Volgograd*

**Vyacheslav Rebrov**

*superintendent Examiner of LLC “Alliance-Expert”,  
Russia, Volgograd*

**Yuri Smirnov**

*expert of LLC “Alliance-Expert”,  
Russia, Volgograd*

**Andrey Tian**

*engineer of LLC “Alliance-Expert”,  
Russia, Volgograd*

**Dmitri Popov**

*expert of LLC “Alliance-Expert”,  
Russia, Volgograd*

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрен пример проведения экспертизы промышленной безопасности резервуарного парка хранилища едкого натрия. Приведены дефекты выявленные на объекте экспертизы наиболее характерные для сооружений данного типа и способы их устранения. Приведены результаты расчета остаточного ресурса. Рассмотрены требования промышленной безопасности предъявляемые к резервуарным паркам хранилищ кислот и щелочей, приведен расчет заполнения поддона в случае аварии.

### ABSTRACT

An example of examination execution of storage plant safety of sodium hydroxide reservoir is considered. Defects identified at the facility are presented for the examination of the most characteristic structures of this type and how to resolve them. The results of calculation of remaining life are given. The requirements of industrial safety for storage plant of acids

and alkalis reservoirs are under study, the calculation of filling a tray in case of an accident is provided.

**Ключевые слова:** экспертиза промышленной безопасности; резервуарный парк.

**Keywords:** expert examination of industrial safety; storage plant.

Экспертиза проводилась с целью определения соответствия объекта предъявляемым к нему требованиям промышленной безопасности. При проведении экспертизы устанавливалась полнота и достоверность относящихся к объекту экспертизы документов, предоставленных заказчиком, оценивалось фактическое состояние строительных конструкций.

Экспертиза промышленной безопасности проводилась в форме общего обследования и состояла из следующих этапов:

- изучение предоставленной проектной, эксплуатационной и другой технической документации;
- визуально-инструментальное обследование (освидетельствование) объекта;
- анализ полученных данных, выработка экспертных оценок, разработка компенсирующих мероприятий, оформление заключения.

Для проведения экспертизы заказчиком была представлена следующая документация:

- чертежи проекта;
- комплект исполнительной документации, журналы работ, паспорта на строительные конструкции;
- технологический регламент;
- эксплуатационная документация.

Экспертиза промышленной безопасности сооружения проводится впервые.

Аварий и нарушений технологических процессов, влияющих на условия эксплуатации сооружения не было.

Основанием для проведения экспертизы являлось истечение срока эксплуатации здания или сооружения, установленного проектной документацией.

Объектом экспертизы промышленной безопасности является резервуарный парк предназначенный для хранения едкого натрия.

Классификационный признак объекта в соответствии с перечнем областей аккредитации экспертных организаций в Системе экспертизы промышленной безопасности:

3. Проведение экспертизы промышленной безопасности зданий и сооружений на опасных производственных объектах:

3.6. На объектах химических, нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих производств и других взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах:

3.6.1. Зданий и сооружений.

Резервуарный парк представляет собой прямоугольную в плане площадку с размерами по осям 17,00×47,50 м по периметру выполнены борты высотой 1,20 м. На площадке установлены три вертикальных цилиндрических резервуара аппарата диаметром — 8000 мм, высотой — 8000 мм и три горизонтальных цилиндрических аппарата на отдельно стоящих фундаментах. По осям 1г-1д выполнены фундаменты под трубопроводы. Для доступа к аппаратам по оси «Б» пристроена металлическая лестница. Высота бортов площадки от днища 1200 мм.

Днище резервуарного парка представляет собой монолитную железобетонную плиту толщиной 150 мм. Борта выполнены из сборных бетонных блоков толщиной 400 мм высотой 600 мм. Фундаменты под аппараты и трубопроводы монолитные железобетонные. Вдоль оси 1 выполнен лоток для сбора сточных вод. Фундаменты и пол облицованы кислотостойкой плиткой.

Для оценки фактического состояния сооружения было проведено его обследование в результате которого были выявлены следующие дефекты и повреждения:

Разрушение и трещины в защитном антикоррозионном покрытии, размораживание бетонных блоков внутренней поверхности стен резервуарного парка по всему периметру.

Размораживание бетона железобетонного фундамента под горизонтальный аппарат в осях 1а/А3.

Разрушение бетона, коррозионные трещины в железобетонных фундаментах под технологические трубопроводы в осях 1г/А10, 1г/А12, 1г/А22, 1д/А12, 1д/А13, 1д/А18, 1д/А19.

Коррозия анкерных болтов крепления стоек лестницы.

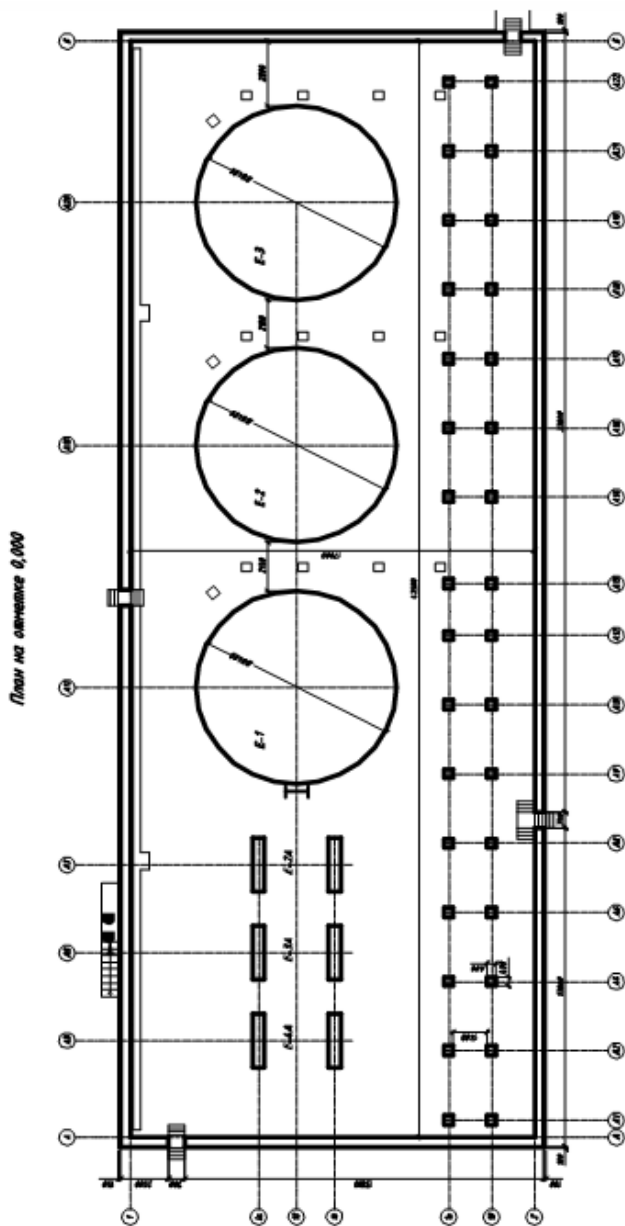


Рисунок 1. План резервуарного парка



Разрушение защитного лакокрасочного покрытия, поверхностная коррозия металлоконструкций лестницы для обслуживания емкостей.

Помимо дефектов был выявлен ряд нарушений правил эксплуатации:

Разрушение химзащиты железобетонных фундаментов под горизонтальные аппараты и технологические трубопроводы в осях 1а-1в/А3-А7, 1г-1д/А1-А22, пола резервуарного парка в осях 1/А-Б, 1-1в/Б.

Отсутствует химзащита фундаментов под технологические трубопроводы к ёмкостям Е-1,2, 3.

Разрушен отлив на бортах площадки по всему периметру.

Отсутствует или разрушена отмостка по периметру резервуарного парка.

Для приведения объекта экспертизы к нормативному уровню технического состояния строительных конструкций необходимо выполнить следующие мероприятия:

Тщательно очистить внутреннюю поверхность бортов от отслаивающейся защиты, вскрыть бунящие зоны. Выполнить химзащиту внутренней поверхности бортов резервуарного парка согласно требованиям проекта путем нанесения полимерсиликатного бетона марки 200 по ГОСТ 25246-82 (возможно применение других материалов устойчивых к воздействию щелочи).

Очистить поврежденный участок железобетонного фундамента под горизонтальный аппарат в осях 1а/А3 от отслоившегося и потерявшего прочность бетона и восстановить защитный слой.

Очистить поврежденные железобетонные фундаменты под технологические трубопроводы в осях 1г/А10, 1г/А12, 1г/А22, 1д/А12, 1д/А13, 1д/А18, 1д/А19 от отслаивающегося бетона, и восстановить геометрические размеры.

Очистить анкерные болты крепления стоек лестницы от продуктов коррозии, очистить узлы опирания от разрушенного бетона, выполнить антикоррозионную защиту металлоконструкций, по обрезам фундаментов выполнить подливку из мелкозернистого бетона на высоту до опорных площадок стоек.

Очистить металлоконструкции лестницы для обслуживания емкостей от продуктов коррозии и восстановить лакокрасочное покрытие.

Восстановить разрушенную химзащиту железобетонных фундаментов под горизонтальные аппараты и технологический трубопровод в осях 1а-1в/А3-А7, 1г-1д/А1-А22, полов в осях 1/А-Б, 1-1в/Б.

Выполнить химзащиту фундаментов под технологические трубопроводы к ёмкостям Е-1,2, 3.

Восстановить отлив на бортах резервуарного парка.

Выполнить отмостку по периметру резервуарного парка согласно проекту шириной не менее 1500 мм.

Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных конструкций корпуса были проведены на основании «модели деградации несущего каркаса объекта» предложенной профессором Мельчаковым А.П. [1].

Оценка остаточного ресурса производилась на результатах фактического состояния конструкций, установленного в процессе проведения экспертизы, и вероятностного метода теории риска. Прогноз риска аварии на основе классического вероятностного подхода невозможен в виду отсутствия достаточного блока статистических данных и значительного влияния человеческого фактора.

Для снижения риска аварии и приведения строительных конструкций к нормальному уровню надежности необходимо проведение ремонтно-восстановительных работ, представленных в заключении экспертизы. Фактическое значение риска аварии составляет 0,0087 1/год. Остаточный ресурс строительных конструкций корпуса 605 составляет 77 %. Безопасный остаточный ресурс 45 лет.

Согласно Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила безопасности химически опасных производственных объектов» [3] п. 159. Емкостное оборудование для использования кислот и (или) щелочей объемом 1000 л и более должно быть оснащено поддонами, вместимость которых достаточна для содержания одного аппарата максимальной емкости в случае его аварийного разрушения. Высота защитного ограждения каждой группы резервуаров должна быть на 0,2 м выше уровня расчетного объема разлившейся жидкости.

Поддоны и площадки с бортами должны быть оснащены стационарными или передвижными устройствами для удаления аварийных проливов и их дальнейшей нейтрализации. Поддоны для открытых складов без сливов в специальную канализацию организации должны быть дополнительно защищены от атмосферных осадков.

На объекте экспертизы эксплуатируются три вертикальных резервуара Е-1,2,3 вместимостью 400 м<sup>3</sup> каждый для хранения натра едкого 46 %. Емкости Е-2А, Е-3А, Е-4А установленные на площадке не эксплуатируются. Согласно технологическому регламенту один из резервуаров является резервным, заполнение резервуаров производится до уровня не более 80 %. Резервуарный парк представляет собой прямоугольную в плане площадку с бортами с размерами по внут-

ренним границам бортов  $17,00 \times 47,50$  м. Высота бортов от пола площадки 1,2 м.

В случае аварийного разрушение одного из резервуаров максимально возможный объем пролившейся щелочи будет равен:

$$V_{\text{щ}} = 400 \cdot 0,8 = 320 \text{ м}^3$$

Общая площадь днища поддона равна:

$$S_{\text{общ}} = 47,5 \cdot 17,0 = 807,5 \text{ м}^2$$

Определим площадь, занимаемую фундаментами аппаратов Е1, 2, 3:

$$S_{E_{1,2,3}} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{3,14 \cdot 8,4^2}{4} = 166,2 \text{ м}^2$$

Площадь, занимаемая фундаментами аппаратов Е-2А, Е-3А, Е-4А равна:

$$S_{E-2A, E-3A, E-4A} = 6 \cdot 0,5 \cdot 2,4 = 7,2 \text{ м}^2$$

На площадке выполнены фундамента двух типоразмеров:

- первый тип размеры в плане  $0,4 \times 0,45$  м количество — 32 шт;
- второй тип размеры в плане  $0,5 \times 0,4$  м количество — 15 шт.

Определим площадь, занимаемую фундаментами технологических трубопроводов:

$$S_{\text{ф.труб}} = 32 \cdot 0,4 \cdot 0,45 + 15 \cdot 0,5 \cdot 0,4 = 8,76 \text{ м}^2$$

Свободная площадь поддона равна:

$$\begin{aligned} S_{\text{св}} &= S_{\text{общ}} - S_{E_{1,2,3}} - S_{E-2A, E-3A, E-4A} - S_{\text{ф.труб}} \\ &= 807,5 - 166,2 - 7,2 - 8,76 = 625,34 \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Согласно требованиям [3] максимальный уровень разлившейся щелочи,  $h_{\text{макс}}$  должен быть на 0,2 м ниже высоты защитного ограждения. При высоте защитного ограждения 1,2 м допустимый уровень заполнения поддона составляет 1,0 м.

Исходя из максимально возможного количества разлившейся щелочи, учитывая свободную площадь поддона, определим фактический уровень заполнения:

$$h_{\text{факт}} = \frac{V_{\text{ш}}}{S_{\text{св}}} = \frac{320}{625,34} = 0,521 \text{ м} < 1,0 \text{ м} = h_{\text{макс}}$$

Вывод: вместимость поддона соответствует требованиям ФНП «Правила безопасности химически опасных производственных объектов» [3], объект экспертизы соответствует требованиям промышленной безопасности.

### Список литературы:

1. Мельчаков А.П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов. Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2006. — 49 с.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14.11.2013 г. № 538.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Порядок осуществления экспертизы промышленной безопасности в химической, нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей промышленности». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.10.2012 г. № 584.
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности химически опасных производственных объектов». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 21.11.2013 г. № 559.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙНОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ ДЛЯ СТАЦИОНАРНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЯ НА ХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Нестратов Михаил Юрьевич**

канд. техн. наук, технический директор ООО «Альянс-Эксперт»

РФ, г. Волгоград

E-mail: [alians-ekspert@mail.ru](mailto:alians-ekspert@mail.ru)

**Ребров Вячеслав Валерьевич**

начальник экспертного отдела ООО «Альянс-Эксперт»

РФ, г. Волгоград

E-mail: [alians-ekspert@mail.ru](mailto:alians-ekspert@mail.ru)

**Смирнов Юрий Юрьевич**

эксперт ООО «Альянс-Эксперт»

РФ, г. Волгоград

E-mail: [alians-ekspert@mail.ru](mailto:alians-ekspert@mail.ru)

**Тян Андрей Александрович**

инженер ООО «Альянс-Эксперт»

РФ, г. Волгоград

E-mail: [alians-ekspert@mail.ru](mailto:alians-ekspert@mail.ru)

**Попов Дмитрий Валентинович**

эксперт ООО «Альянс-Эксперт»

РФ, г. Волгоград

E-mail: [alians-ekspert@mail.ru](mailto:alians-ekspert@mail.ru)

## DETERMINATION OF PREMISES CATEGORY FOR STATIONARY DISTRIBUTION OF ALKALINE STORAGE BATTERIES DURING SAFETY EXPERT REVIEW OF THE BUILDING IN CHEMICAL PRODUCTION

**Mikhail Nestratov**

*candidate of Technical Sciences, Technical Manager  
of LLC “Alliance-Expert”,  
Russia, Volgograd*

**Vyacheslav Rebrov**

*superintendent Examiner of LLC “Alliance-Expert”,  
Russia, Volgograd*

**Yuri Smirnov**

*expert of LLC “Alliance-Expert”,  
Russia, Volgograd*

**Andrey Tian**

*engineer of LLC “Alliance-Expert”,  
Russia, Volgograd*

**Dmitri Popov**

*expert of LLC “Alliance-Expert”,  
Russia, Volgograd*

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрен процесс определения категоричности помещения для стационарного размещения щелочных аккумуляторных батарей.

### ABSTRACT

The process of determination of premises category for stationary distribution of alkaline storage batteries is considered.

**Ключевые слова:** взрывопожароопасность, экспертиза промышленной безопасности, щелочные аккумуляторные батареи.

**Keywords:** fire explosion; safety expert review; alkaline storage batteries.

В настоящее время категорирование и классификация помещений стационарных аккумуляторных батарей проводится согласно требо-

ваниям главы 4.4 «Аккумуляторные установки» [3]. Поскольку действие данного нормативного документа распространяется только на кислотные аккумуляторы категорирование помещений стационарных щелочных аккумуляторных батарей по взрывопожарной опасности должно производиться в соответствии с требованиями [2].

Согласно требованиям [2] для определения категории помещения необходимо выполнить последовательную проверку принадлежности помещения к категории, путем последовательного подбора от высшей (А) к низшей (Д).

К категории А (взрывопожароопасная) относятся:

Помещения, в которых находятся или обращаются горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки менее 28 °С в количестве достаточном для образования взрывоопасной парогазовоздушной смеси, при горении которой появляется расчетное избыточное давление взрыва  $\Delta P$  больше 5 кПа;

Помещения, в которых находятся или обращаются вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии друг с другом, водой или кислородом воздуха в количестве достаточном для образования взрыва с избыточным давлением  $\Delta P$  больше 5 кПа.

К категории Б (взрывопожароопасная) относятся:

Помещения, в которых находятся или обращаются горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки больше 28 °С, в количестве для образования взрывоопасной пылевоздушной или паровоздушной смеси, при горении которой появляется расчетное избыточное давление взрыва  $\Delta P$  больше 5 кПа.

К категориям В1—В4 (пожароопасная) относятся:

Помещения, в которых находятся или обращаются горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом. При том условии что, помещения в которых они находятся или обращаются, не относятся к категориям А или Б.

К категории Г относятся:

Помещения, в которых находятся или обращаются негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, работа с которыми сопровождается выделением тепловой энергии, искр и пламени;

Помещения, в которых утилизируются или сжигаются в качестве топлива горючие газы, жидкости и твердые вещества (в качестве примера таких помещений можно привести котельные).

К категории Д относятся:

Помещения, в которых находятся или обращаются негорючие вещества и материалы при температурах исключающих возможность значительного тепловыделения.

При расчете значений критериев взрывопожарной опасности помещения для стационарного размещения щелочных аккумуляторных батарей в качестве расчетного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант — одновременную зарядку всех аккумуляторов.

Согласно требованиям [2] в случае если отсутствует возможность применения расчетных методов, значение критериев взрывопожарной опасности базируется на основании результатов исследовательских работ.

Объем водорода выделяющийся при зарядке батареи щелочных аккумуляторов согласно формуле 23 [4] определяется по формуле:

$$V_H = 0,418 \cdot I \cdot \eta_r \cdot n \cdot K_{tp} \quad (1)$$

где:  $I$  — зарядный ток А;

$\eta_r$  — коэффициент учитывающий способ зарядки аккумулятора, в расчетах принимаем равным 0,95;

$n$  — число аккумуляторов;

$K_{tp}$  — поправочный коэффициент учитывающий отличие параметров окружающей среды от стандартных условий (давление 760 мм рт. ст. и температура 0 °С).

$$K_{tp} = \frac{760 \cdot (T_0 + t)}{P \cdot T_0} \quad (2)$$

где:  $P$  — давление воздуха в помещении;

$T_0$  — стандартная температура в помещении равная 273°K;

$t$  — температура воздуха в помещении °С.

Как правило в виду незначительности на практике влияние изменения атмосферного давления не учитывают.

Согласно пункту 10 [2] избыточное давление взрыва  $\Delta P$  определяется по формуле:

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_{гн}} \cdot \frac{100}{c_{ст}} \cdot \frac{1}{K_H} \quad (3)$$



где:  $P_{\max}$  — максимальное давление взрыва замкнутом объеме, при отсутствии экспериментальных и справочных данных  $P_{\max}$  принимается равным 900 кПа;

$P_0$  — начальное давление равное 101 кПа;

$m$  — масса водорода образующаяся при зарядке аккумуляторов;

$Z$  — коэффициент участия водорода во взрыве, который принимается на основе характера распределения газа в объеме помещения. Для водорода  $Z$  равно 1;

$V_{св}$  — свободный объем помещения, м<sup>3</sup>. Определяется как произведение периметра помещения взятого по внутренним поверхностям стен на среднюю высоту помещения, из полученной величины вычитается объем технологического оборудования, трубопроводов и фундаментов под оборудование (расположенных выше отметки пола) находящихся в данном помещении. В случае невозможности учета объема помещения занятого технологическим оборудованием и трубопроводами возможно применение понижающего коэффициента переводящего внутренний объем в свободный равного 0,8;

$\rho_{г,n}$  — плотность водорода при расчетной температуре  $t_p$ , кг·м<sup>-3</sup>, вычисляется по формуле:

$$\rho_{гn} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)} \quad (4)$$

где:  $M$  — молярная масса 1,00784 10<sup>-3</sup> кг·кмоль<sup>-1</sup>;

$V_0$  — мольный объем, равный 22,413 м<sup>3</sup>·кмоль<sup>-1</sup>;

$t_p$  — расчетная температура, °С. За расчетную температуру принимается максимально возможная температура воздуха в данном помещении учитывающая климатическую зону расположения или максимально возможная, с учетом возможного повышения в аварийной ситуации, температура воздуха по технологическому регламенту;

$C_{ст}$  — стехиометрическая концентрация водорода вычисляемая по формуле;

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} \quad (5)$$

$\beta$  — стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания;

$$\beta = \frac{n_H}{4} \quad (6)$$

где:  $n_H$ , — число атомов водорода;

$K_n$  — коэффициент, учитывающий не герметичность помещения и неполную адиабатичность процесса горения принимается равным 3.

После определения давления взрыва исходя из изложенных выше критериев определяется категория помещения для стационарного размещения щелочных аккумуляторных батарей.

### Список литературы:

1. М788-1070 Указания по категорированию и классификации помещений стационарных кислотных и щелочных аккумуляторных батарей (с изменениями 2001 г.). М: 1993 г. — 19 с.
2. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Утверждены приказом МЧС России от 18.06.2003 г. № 314. — 31 с.
3. Правила устройства электроустановок. Издание 6-е, переработанное и дополненное с изменениями. — М.: Главгосэнергонадзор России, 1998. Утвержено Министерством энергетики Российской Федерации Приказ от 8 июля 2002 г. № 204. — 124 с.
4. Хрюкин Н.С. Вентиляция и отопление аккумуляторных помещений. М: Энергия, 1979 г. — 121 с.

## ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ СТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ

**Сапронов Олег Алексеевич**

эксперт по промышленной безопасности, ООО «Протос Экспертиза»,  
РФ, г. Владимир  
E-mail: [soaol@yandex.ru](mailto:soaol@yandex.ru)

**Токарев Дмитрий Александрович**

эксперт по промышленной безопасности, ООО «Протос Экспертиза»,  
РФ, г. Владимир

**Бельшиев Владимир Николаевич**

эксперт по промышленной безопасности, ООО «Протос Экспертиза»,  
РФ, г. Дубна

**Кравченко Татьяна Ивановна**

канд. техн. наук, заведующая лабораториями кафедры  
«Сопротивление материалов» ФГБОУ ВПО «Владимирский  
государственный университет имени Александра Григорьевича  
и Николая Григорьевича Столетовых»,  
РФ, г. Владимир  
E-mail: [tatyana.ttkachenko@yandex.ru](mailto:tatyana.ttkachenko@yandex.ru).

**Ярыгин Владимир Степанович**

канд. техн. наук, профессор кафедры «Строительные конструкции»  
Ивановского государственного архитектурно-строительного  
университета (ИГАСУ)  
РФ, г. Иваново

## FORECAST OF STABILITY FOUNDATION OF THE STEEL CYLINDRICAL TANK

**Oleg Sapronov**

*engineer-expert, Ltd. Protos Expertise,  
Russia, Vladimir*

**Dmitry Tokarev**

*engineer-expert, Ltd. Protos Expertise,  
Russia, Vladimir*

**Vladimir Belyshev**

*engineer-expert, Ltd. Protos Expertise,  
Russia, Dubna*

**Tatyana Kravchenko**

*candidate Technical, head of the laboratory of the department  
"Strength of Materials", Vladimir State University  
named after Alexander and Nikolay Stoletovs,  
Russia, Vladimir*

**Vladimir Yarygin**

*candidate Technical, professor of the department "Building Structures"  
Ivanovo State Architectural University ,  
Russia, Ivanovo*

### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена исследованию устойчивости стальных вертикальных резервуаров с оценкой критического усилия, возникающего в слоисто-горизонтальной модели слабой грунтовой среды от прогиба днища резервуаров под действием внешних усилий, которые необходимо учитывать для обеспечения промышленной безопасности резервуаров.

### ABSTRACT

The article is devoted to investigation of stability of steel vertical tanks with a critical assessment of the forces arising in the layered horizontal model a weak soil medium from the deflection of the bottom of the reservoirs under the action of external forces, that must be considered to ensure industrial safety of tanks.

**Ключевые слова:** критическое усилие; модель грунтовой среды; равнобедренная нагрузка; промышленная безопасность.

**Keywords:** the critical force; model of soil medium; isosceles load; Industrial Safety.

При проведении экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ) резервуаров часто выявляются дефекты в виде недопустимых прогибов оснований (днищ) резервуаров, что в свою очередь приводит к развитию аварийных дефектов. До сих пор большое количество РВС установлены на неподготовленное основание, выполнены как временные хранилища. Практика показывает — аварии резервуаров сопровождаются значительными потерями продукта, загрязнением окружающей среды и гибелью людей. Таким образом, мы считаем, что на текущий момент вопросы обеспечения надежности оснований резервуаров являются не решенными.

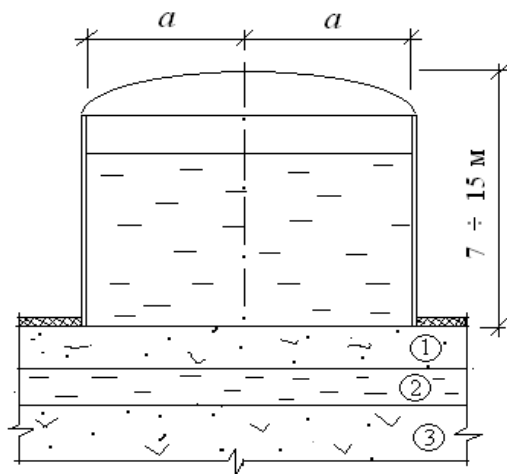
В зависимости от чувствительности к деформациям основания всех резервуарных сооружений условно разделяются на три основных типа: абсолютно гибкие, абсолютно жёсткие и конечной жёсткости. Основания сооружений, относящиеся к абсолютно гибким, беспрепятственно следуют за перемещениями поверхности грунтов основания во всех точках контакта так, что дополнительных усилий при развитии неравномерных осадок в их конструкциях практически не возникает. Даже значительная неравномерная осадка для них не является опасной. Конструкция вертикальных стальных цилиндрических резервуаров, которые без ущерба для прочности могут получать большой прогиб (рис. 1) при заполнении их продуктом, является определяющей при оценке соответствия требованиям промышленной безопасности и возможности дальнейшей эксплуатации. Оценить степень устойчивости при проведении ЭПБ в рамках типовых программ не возможно, поэтому необходимо проводить дополнительные научно-технические исследования.

В основу наших исследований устойчивости резервуаров положены следующие условия: использование слабого грунта в качестве основания с применением расчетов по проверке устойчивости и надежности оснований.

Принцип и конкретное решение задач исследования выбрано на основе технико-экономического сравнения вариантов с учетом:

- требуемой высоты резервуаров;
- вида и особенностей свойств слабых грунтов, залегающих в основании резервуаров.

Конкретное решение выбрано на основе инженерно-геологических данных, вида и особенностей слабого грунта, залегающего в грунтовой полупространстве.



**Рисунок 1. Схема вертикального стального резервуара \***  
**Наименование грунтов для слоёв 1, 2 и 3 указано в таблице 1**

В [1; 2] решена задача об оценке критического усилия в модели грунтовой среды в виде однородного, тяжелого, упругого полупространства под действием внешней нагрузки, приложенной к полупространству, эпюра которой представляет прямоугольный треугольник.

В работе [3] рассмотрено решение аналогичной задачи. Но модель грунтовой среды представлена двумя плоско-параллельными слоями, лежащими на поверхности полупространства, а эпюра внешней нагрузки имеет вид равнобедренного треугольника (рис. 2). Тогда напряжённое состояние модели будет определяться весом плоско-параллельных слоёв и полупространства  $\sigma_x^0 = \sigma_z^0 = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 [z - (h_1 + h_2)]$  и влиянием внешней нагрузки  $P$ , где  $\sigma_x^0$  и  $\sigma_z^0$  — начальные составляющие напряжения,  $\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 [z - (h_1 + h_2)]$  — давление от собственного веса слоёв грунта с учётом водонасыщенного слоя до уровня  $z$ . Формулы для вычисления критического давления  $P_{кр}$  и максимальной глубины его проявления  $z_{макс}$  были получены на основании известных аналитических решений [4] и [6].

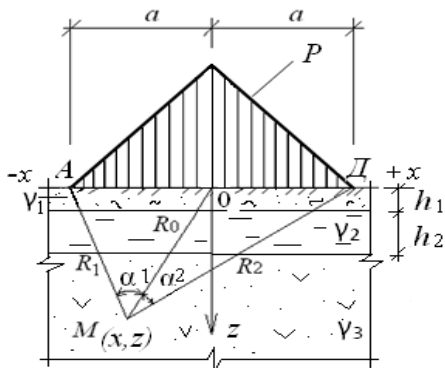


Рисунок 2. Модель грунтовой среды и эпюра внешней нагрузки

В результате расчёта в [3] были получены формулы критических усилий  **$P_{кр}$  И МАКСИМАЛЬНЫХ ГЛУБИН ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ  $Z_{макс}$**  для различных физико-механических характеристиках слабых грунтов.

Формула критического усилия  $P_{кр}$  **ИМЕЕТ ВИД** [3]:

$$P_{кр} = \frac{N}{2M} \left\{ - \left[ \left( 1 - \frac{4ML}{N^2} \right)^{\frac{1}{2}} + 1 \right] \right\}, \quad (1)$$

где 
$$M = \frac{1,76}{\sin \phi} [(0,96 - \sin \phi) \ln \frac{R_1 R_2}{R_0^2} + 0,4(\alpha_1 - \alpha_2)];$$

$$N = -\{C_z[(\alpha_1 + \alpha_2) + \frac{x}{a}(\alpha_1 - \alpha_2)] + 1,76\pi a \gamma_3\}; \quad (2)$$

$$L = -\pi C_z [\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 - \gamma_3(h_1 + h_2) + C \operatorname{ctg} \phi].$$

**МАКСИМАЛЬНАЯ ГЛУБИНА ПРОЯВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОГО УСИЛИЯ  $Z_{макс}$  РАВНА** [1]

$$z_{макс} = \frac{[a(\alpha_1 + \alpha_2) + x(\alpha_1 - \alpha_2)] + \frac{\pi a}{P} [\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 - \gamma_3(h_1 + h_2) + C \operatorname{ctg} \phi]}{\frac{0,96 - \sin \phi}{\sin \phi} \ln \frac{R_1 R_2}{R_0^2} + \frac{0,4}{\sin \phi} (\alpha_1 - \alpha_2) - \frac{\pi a \gamma_3}{P}}. \quad (3)$$

Формулы (1) и (3) позволяют вычислять  $z_{\max}$  и  $P_{\text{кр}}$  в полупространстве. В этих формулах  $z_{\max}$  и  $P_{\text{кр}}$  зависят от большого количества физико-механических и геометрических характеристик модели. Придавая им различные значения можно получить формулы для  $z_{\max}$  и  $P_{\text{кр}}$  для различных вариантов моделей среды и эпюр внешней нагрузки.

При решении задач, связанных с оценкой напряжённо-деформированного состояния в основаниях стальных цилиндрических резервуаров, в основу расчётной схемы положена модель грунта в виде линейно-упругого грунтового слоя (рис. 3). На уровне подошвы стального резервуара от действия прогиба имеет место равнобедренная эпюра давлений. Поэтому с помощью полученных аналитических выражений в [3] было проведено исследование грунтового основания резервуаров. Грунты, залегающие под резервуаром, указаны в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Геотехнические характеристики грунтовой толщи**

№ слоя	Наименование грунта	Мощность слоя, м	Расстояние от поверхности земли до подошвы слоя, м
1	Насыпной грунт	1	1
2	Водный слой	0,8	1,8
3	Мягкопластичные суглинки с участками торфяных залежей	8	9,6

*\*Почвенно-растительный слой толщиной 0,2 ÷ 0,3 м срезается и в расчётах не учитывается.*

В качестве расчётных геотехнических характеристик слабого грунтового слоя приняты значения, указанные таблице 2.

**Таблица 2.**

**Физико-механические характеристики грунтового полупространства**

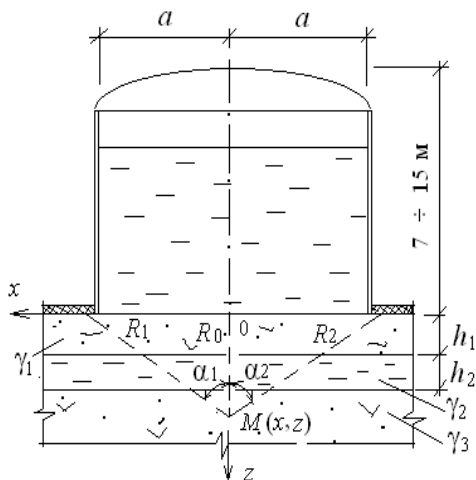
Порода	Удельный вес $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , °	Удельное сцепление $C$ , кПа	Модуль деформации $E$ , МПа	Кэф. упругого полупространства $C_z$ , МПа
Мягко-пластичные суглинки с участками торфяных залежей	16,05	14	12	13,2	13,43



Расчётное давление на основание от заполненного резервуара равно [6]

$$P_{\text{расч}} = 1,2P + 1,4 P_{\text{сн}} = 1,2 \cdot 180 + 1,4 \cdot 1,8 = 218,52 \text{ кН/м}^2 = 0,22 \text{ МПа} , \quad (4)$$

где  $P = 180 \text{ кН/м}^2$  — нормативная нагрузка от конструкций резервуара  $h = 7 \text{ м}$ , с учётом продукта,  $P_{\text{сн}} = 1,8 \text{ кН/м}^2$  — нормативная снеговая нагрузка [5].



**Рисунок 3. Расчётная схема нагрузки от прогиба днища стального резервуара**

Критическую нагрузку найдём по формуле (1)

$$\begin{aligned}
 P_{\text{кр}} &= \frac{N}{2M} \left\{ - \left[ \left( 1 - \frac{4ML}{N^2} \right)^{\frac{1}{2}} + 1 \right] \right\} = \\
 &= \frac{-34615,61}{2 \cdot 12,13} \left\{ - \left[ \left( 1 + \frac{4 \cdot 12,13 \cdot 2280392,27}{1198240456} \right)^{\frac{1}{2}} + 1 \right] \right\} = \quad (5) \\
 &= 2917,37 \text{ кН/м}^2 = 2,92 \text{ МПа} ,
 \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{1,76}{\sin \phi} [(0,96 - \sin \phi) \ln \frac{R_1 R_2}{R_0^2} + 0,4(\alpha_1 - \alpha_2)] = \\
 &= \frac{1,76}{0,242} [(0,96 - 0,242) \ln \frac{10,53 \cdot 10,53}{10,89} + 0,4 \cdot 0] = 12,13; \\
 N &= - \left\{ C_z [(\alpha_1 + \alpha_2) + \frac{x}{a} (\alpha_1 - \alpha_2)] + 1,76 \pi a \gamma_3 \right\} = \\
 &= 13427(2,512 + 0) + 1,76 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 16,05 = \\
 &= -34615,61; \\
 L &= -\pi C_z [\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 - \gamma_3 (h_1 + h_2) + C \operatorname{ctg} \phi] = \\
 &= -3,14 \cdot 13427(15,05 \cdot 1 + 10,3 \cdot 0,8 - \\
 &\quad - 16,05 \cdot 1,8 + 12 \cdot 4,011) = 2280392,27.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Результаты, полученных исследований, сведены в таблицу 3.

**Таблица 3.**

**Результаты расчётов физических и силовых характеристик на грунтовое полупространство**

Стальной резервуар с водой $h$ , м	$\alpha$ , °	$z_{\text{макс}}$ , м	$P_{\text{расч}}$ , МПа	$P_{\text{кр}}$ , МПа
7	144	3,3	0,22	2,92
9			0,28	
11			0,34	
15			0,47	

В результате расчётов устойчивости резервуаров следует отметить:

- при заданной высоте резервуара  $h = 7 \div 15$  м устойчивость основания является достаточной и специальных мер её повышению не требуется.

По результатам исследования критических нагрузок для оснований резервуаров было определено техническое решение о наиболее целесообразном варианте конструкции оснований на слабых грунтах. Критерием устойчивости грунтовых оснований являлась проверка грунтовой среды на условие:  $P_{\text{расч}} < P_{\text{кр}}$ . Проверка

условия выполнялась в зависимости от требуемой высоты конструкций резервуаров и качества подстилающего грунта в основании.

Для других случаев, где условие устойчивости не будет соблюдаться, т.е.  $P_{расч} > P_{кр}$  должны быть применены мероприятия, обеспечивающие устойчивость основания. Аналитические выражения и методики расчёта, приведённые в настоящей статье, могут быть использованы для расчёта устойчивости любых вертикальных конструкций стальных резервуаров с учетом различных физико-механических характеристик слабых грунтов.

### Список литературы:

1. Кравченко Т.И., Филатов В.В. Оценка предельного критического усилия на упруго-пластическую грунтовую среду от действия треугольной нагрузки // Изв. вузов. Горный журнал. — 2012, — № 5. — С. 68—72.
2. Кравченко Т.И. Пищик Г.Ф. Исследование предельных критических усилий и глубины залегания зон предельного равновесия для некоторых видов нагрузок / Известия Ивановского отделения ПАНИ при ИГАСА. Вып. 6. Иваново, 2001. — С. 110—113.
3. Кравченко Т.И., Филатов В.В. Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций //Сборник научных статей XIX научно-методической конференции ВИТУ (19.03. 2015 г.)/ ВИ (ИТ) ВА МТО (ВИТУ). — СПб, 2015 — С. 162—167.
4. Маслов Н.Н. Прикладная механика грунтов. М.: Машстройиздат, 1949. — 328 с.
5. СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*.
6. Цыгович Н.А. Механика грунтов. 4-е изд. М.: Высшая школа, 1983. — 281 с.

**Научное издание**

**«ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ –  
ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ»**

Сборник статей по материалам  
I международной научно-практической конференции

№ 9 (45)

Сентябрь 2015 г.

Подписано в печать 07.10.15. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 9,25. Тираж 550 экз.

Издательство АНС «СибАК»  
630049, г. Новосибирск, Красный проспект, 165, офис 4.  
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3