



**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ ЗАОЧНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ:  
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ  
И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ**

Новосибирск, 2012 г.

УДК 62  
ББК 30  
Т 38

**Т 38 «Технические науки: теоретические и прикладные аспекты»:**  
материалы международной заочной научно-практической  
конференции. (19 марта 2012 г.); [под. ред. Я.А. Полонского].  
Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов»,  
2012. — 154 с.

ISBN 978-5-4379-0060-4

Сборник трудов международной заочной научно-практической конференции «Технические науки: теоретические и прикладные аспекты» отражает результаты научных исследований, проведенных представителями различных школ и направлений современных технических наук.

Данное издание будет полезно аспирантам, студентам, исследователям в области прикладной науки и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития технических наук.

ББК 30

ISBN 978-5-4379-0060-4

Рецензенты:

- кандидат физико-математических наук, Зеленская Татьяна Евгеньевна, Югорский государственный университет (г. Ханты-Мансийск)
- кандидат технических наук, Полонский Яков Аркадьевич, эксперт высшей квалификации Единой Системы Оценки Соответствия (г. Волгоград)

## Оглавление

<b>Секция 1. Машиностроение и машиноведение</b>	<b>7</b>
ВЛИЯНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ В ЗУБЬЯХ ГИПОИДНОЙ ПЕРЕДАЧИ Кайгородов Алексей Сергеевич Щелканов Сергей Иванович	7
ТЕРМОГИДРОПРИВОД ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ Кузнецов Сергей Викторович	11
АППРОКСИМАТИВНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОЦЕНОК РЕСУРСА Подвойский Александр Олегович Боровских Валентин Ефимович	16
<b>Секция 2. Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение</b>	<b>23</b>
ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ Ласица Александр Михайлович Чуранкин Вячеслав Геннадьевич	23
<b>Секция 3. Приборостроение, метрология</b>	<b>29</b>
ПОЛЕВОЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ РАДОНА И ТОРОНА С ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА Черепнев Максим Святославович Яковлева Валентина Станиславовна Вуколов Артем Владимирович	29
<b>Секция 4. Радиотехника и связь</b>	<b>34</b>
АЛГОРИТМ ЭФФЕКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ Грицан Олег Борисович	34
<b>Секция 5. Информатика, вычислительная техника и управление</b>	<b>38</b>
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОЧЕЙ НАГРУЗКИ ПЛАНИРОВЩИКА ЗАДАЧ ПУТЕМ ВЫЯВЛЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ Гриценко Андрей Владимирович	38

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ ПРИЛОЖЕНИЯМИ MATLAB — DELPHI Емельянов Валентин Юрьевич Шишкин Андрей Леонидович	46
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОРОДНОСТИ ИСКАЖЕНИЙ ЧАСТОТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДКП МАТРИЦЫ, ВНОСИМЫХ JPEG-СЖАТИЕМ И МЕДИАННОЙ ФИЛЬТРАЦИЕЙ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ Коваленко Михаил Павлович	51
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОПТИМИЗАЦИИ ТОРГОВЫХ СИСТЕМ Лукашев Александр Владимирович	58
ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОЕКТНОГО РАСЧЕТА И СИНТЕЗА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОДНОШНЕКОВЫХ ЭКСТРУДЕРОВ В ПРОИЗВОДСТВАХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТЕРМОПЛАСТОВ Полосин Андрей Николаевич Тян Евгений Викторович Павлов Сергей Николаевич	64
<b>Секция 6. Энергетика</b>	<b>72</b>
ВЫДАЧА МОЩНОСТИ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ПРИЛЕГАЮЩЕЙ СЕТИ 500 кВ Пузырев Евгений Владимирович	72
К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ С ПОМОЩЬЮ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ Сультимова Валентина Дампиловна Инкеева Сэсэгма Андреевна	79
<b>Секция 7. Metallургия и материаловедение</b>	<b>83</b>
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СТАРЕНИЯ СТАЛИ N18K9M5T НА ДЕФЕКТ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ МНОГОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ Горохов Андрей Юрьевич	83
ОСОБЕННОСТИ ОКУСКОВАНИЯ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД Корнев Антон Владимирович Кусков Вадим Борисович	87

ИЗМЕНЕНИЕ ИСХОДНОЙ СТРУКТУРЫ КОТЛОВОЙ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ Мазура Анастасия Николаевна Гевлич Сергей Олегович Пегишева Светлана Алексеевна	91
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ Муравьев Константин Александрович	95
<b>Секция 8. Химическая технология</b>	<b>106</b>
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОБАВОК И ИНИЦИАТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ВИСБРЕКИНГА Ахмадова Хава Хамидовна Кадиев Хусейн Магомедович Сыркин Алик Михайлович	106
МЕТОД РАСЧЕТА МЕМБРАННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД СУЛЬФАТНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ЗАВОДОВ Труберг Арсений Александрович Силос Ольга Владимировна Терпугов Григорий Валентинович	111
<b>Секция 9. Технология продовольственных продуктов</b>	<b>117</b>
ОРГАНИЗАЦИЯ СБАЛАНСИРОВАННЫХ РАЦИОНОВ ПИТАНИЯ — ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ОЗДОРОВЛЕНИИ НАСЕЛЕНИЯ СТРАНЫ Борисенко Александр Алексеевич	117
ОБОГАЩЕНИЕ МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ДОБАВКАМИ С КОНСЕРВИРУЮЩИМ ДЕЙСТВИЕМ Ситун Наталья Викторовна Текутьева Людмила Александровна Сон Оксана Михайловна Фищенко Евгения Сергеевна	121

**Секция 10. Транспорт** **126**

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО  
ТРАНСПОРТНО-ТЯГОВОГО АГРЕГАТА НА ОСНОВЕ  
РАЗВИТИЯ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ КОЛЕСНЫХ  
ТРАКТОРОВ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ И ИНТЕГРАЛЬНОЙ  
СХЕМ

Мироненко Александр Вячеславович  
Гребеньков Дмитрий Васильевич

ВОПРОСЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ  
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО  
ТРАНСПОРТА

Смирнов Виктор Александрович

**Секция 11. Строительство и архитектура** **136**

ПРОЧНОСТЬ АРМОКИРПИЧНОЙ КЛАДКИ ПРИ СМЯТИИ

Довженко Оксана Александровна  
Пинчук Наталия Михайловна

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕРАЗРЕЗНЫХ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ  
КРИТЕРИЕМ ПРОЧНОСТИ

Шкурупий Александр Анатолиевич  
Лазарева Елена Николаевна

## СЕКЦИЯ 1.

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

#### ВЛИЯНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ В ЗУБЬЯХ ГИПОИДНОЙ ПЕРЕДАЧИ

*Кайгородов Алексей Сергеевич*

*аспирант, СФУ, г. Красноярск*

*E-mail: [alex0608@mail.ru](mailto:alex0608@mail.ru)*

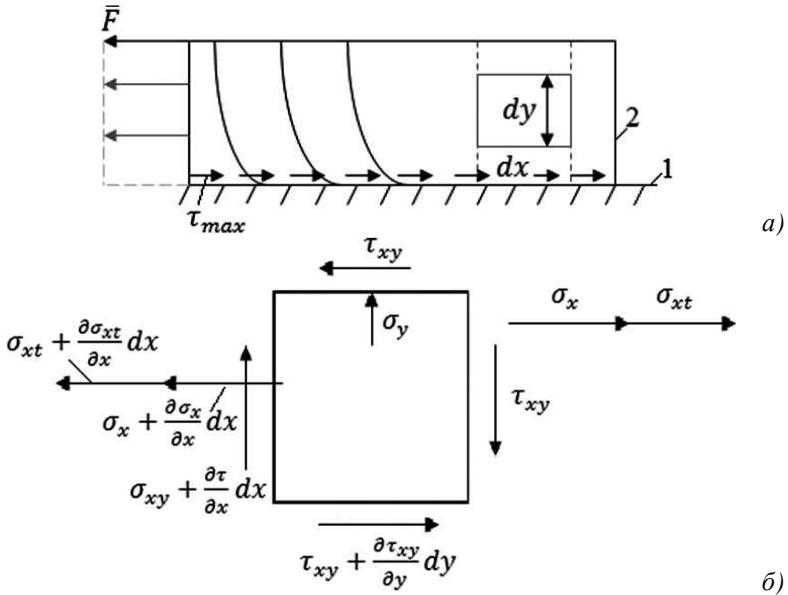
*Щелканов Сергей Иванович*

*канд. техн. наук, профессор СФУ, г. Красноярск*

Поверхностная прочность зубьев гипоидной передачи лимитирует их несущую способность. При передаче крутящих моментов в местах зацепления зубьев возникают распределенные по площади мгновенного контакта напряжения. Нормальные напряжения рассчитывают по формуле Герца [3]. Изгиб и относительное проскальзывание зубьев гипоидной передачи приводят к возникновению значительных касательных напряжений, величина которых в определенной степени зависит от сил трения на контакте. Численные значения касательных напряжений зависят от режима работы гипоидной передачи. При действии переменных нагрузок циклические изменения касательных напряжений интенсифицирует усталостное разрушение зубьев. Глубина возникновения подповерхностных трещин обусловлена уровнем касательных напряжений на поверхности контакта. Так как деформация является необходимым условием восприятия силы, то передача касательной силы возможна лишь при наличии тангенциальных смещений взаимодействующих тел в зоне контакта. Многократное деформирование одних и тех же объемов приводит к упрочнению металла на некоторой глубине. Для закаленных легированных сталей наибольшая микротвердость наблюдалась на глубине до 30 мкм. Выше этого слоя металл имеет меньшую твердость с минимумом на поверхности.

Рассмотрим смещение верхнего слоя зуба гипоидной передачи, используя методику, изложенную в работах [1, 2]. При перекатывании

зуба, за счет сил трения, происходит микросмещение верхнего слоя в направлении движения. При этом максимальные касательные напряжения имеют место вблизи слоя максимального упрочнения. Схема нагружения представлена на Рисунке 1а.



**Рисунок 1. Расчетная схема поверхностного слоя зуба:**  
 а) схема действия внешних сил; б) схема сложнапряженного состояния.

Выделим из слоя элементарную ячейку, напряженное состояние которой представлено на Рисунке 1б. Напряженное состояние содержит кроме нормальных и касательных напряжений на контакте криволинейных поверхностей, напряжения  $\sigma_{xt}$ , вызванные силами трения.

Запишем на основании принципа возможных перемещений уравнения равновесия, которые выражают работу внешних и внутренних сил на возможных перемещениях:

$$\int_F \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} U dF - \int_F \tau_{xy} \frac{\partial U}{\partial x} dF + \int_F \frac{\partial \sigma_{xt}}{\partial x} U dF = 0; \quad (1)$$

$$\int_F \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} V dF - \int_F \sigma_y \frac{\partial V}{\partial y} dF = 0. \quad (2)$$

Для решения уравнения (1) и (2) применим метод разделения переменных. Для этого представим  $U(x, y)$  и  $V(x, y)$  в виде разложений:

$$U(x, y) = U(x)\varphi(y); V(x, y) = V(x)\psi(y), \quad (3)$$

здесь  $U(x, y)$  и  $V(x, y)$  — функции, зависящие от  $x$ , а  $\varphi(y)$  и  $\psi(y)$  — функции, зависящие только от  $y$ .

Значение функции  $\varphi(y)$  представим так

$$\varphi(y) = y^{\frac{1}{m}}; \varphi'(y) = \frac{1}{m} y^{\frac{1-m}{m}}. \quad (4)$$

где:  $m$  — некоторое действительное число (1, 2, 5, 3, ...).

Значение функции  $\psi(y)$  приближенно принимаем

$$\psi(y) = 1; \psi'(y) = 0. \quad (4.1)$$

Функции  $\varphi(y)$  и  $\psi(y)$  представляют собой обобщенные координаты поперечных деформаций, соответствующие им  $U(x)$  и  $V(x)$  являются обобщенными продольными перемещениями.

С учетом уравнений (3) можно записать

$$\int_F \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} \varphi dF - \int_F \tau_{xy} \varphi' dF + \int_F \frac{\partial \sigma_{xt}}{\partial x} \varphi dF = 0 \quad (5)$$

и

$$\int_F \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \psi dF - \int_F \sigma_y \psi' dF = 0. \quad (6)$$

Все интегралы определенные и берутся по всему контуру поперечного сечения.

По закону Гука определили напряжения  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$ , а так же

$$\sigma_{xt} = \frac{E}{(1+\nu)} \frac{dU}{dt}. \quad (7)$$

Подставляя в эти уравнения значения  $U$  и  $V$ , имеем

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{1-\nu^2} [U'(x)\varphi(y) + \nu V(x)\psi'(y)]; \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\nu^2} [V(x)\psi'(y) + \nu U'(x)\varphi(y)]; \\ \tau_{xy} &= \frac{E}{2(1+\nu)} [U(x)\varphi'(y) + V'(x)\psi(y)]; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\sigma_{xt} = \frac{E}{2(1+\nu)} U(x)\varphi'(y).$$

Учитывая, что  $\psi(y) = 1$ ,  $\psi'(y) = 0$ , получим

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{1-\nu^2} U'(x)\varphi(y); \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\nu^2} \nu U'(x)\varphi(y); \\ \tau_{xy} &= \frac{E}{2(1+\nu)} [U(x)\varphi'(y) + V'(x)]; \\ \sigma_{xt} &= \frac{E}{2(1+\nu)} U(x)\varphi'(y). \end{aligned} \quad (9)$$

Уравнения (5) и (6), после подстановки (9), с учетом функций (4) и (4.1) имеют вид

$$\int_F \varphi \varphi dF = \int_F y^{\frac{2}{m}} dF = a;$$

$$\int_F \varphi' \varphi' dF = \frac{1}{m^2} \int_F y^{\frac{2(1-m)}{m}} dF = e;$$

$$\int_F \varphi' \varphi dF = \frac{1}{m} \int_F y^{\frac{2-m}{m}} dF = c;$$

$$\int_F \varphi' dF = \frac{1}{m} \int_F y^{\frac{1-m}{m}} dF = d;$$

$$\int_F dF = F.$$

Вводя разрешающую функцию  $\Phi$  и обозначая

$$\frac{1}{d} \Phi' = U, \quad -\frac{1}{F} \Phi' = V, \quad (11)$$

получим уравнение вида [1]

$$U'' + \frac{(1-v)c}{2a} U' - \frac{1-v}{2} \left( \frac{eF-d^2}{aF} \right) U = 0. \quad (12)$$

Произведя подстановку, имеем

$$U = C e^{\left( \frac{n}{2} \sqrt{\frac{n^2}{4} - t} \right) x}, \quad (13)$$

при  $x_0 = 0$  и  $U_0 = U_{max}$ , найдем  $C = U_{max}$ .

Окончательно запишем уравнение

$$U = U_{max} e^{\left( \frac{n}{2} \sqrt{\frac{n^2}{4} - t} \right) x}, \quad (14)$$

где:

$$\frac{(1-v)c}{2a} = n; \quad -\frac{1-v}{2} \left( \frac{eF-d^2}{aF} \right) = t.$$

При  $m=3$ , уравнение (14) будет иметь вид

$$U = U_{max} e^{-\frac{2,3x}{n}},$$

тогда касательное ускорение  $\tau_k$  будет равно

$$\tau_k = \tau_{kmax} e^{-\frac{2,3x}{n}}. \quad (15)$$

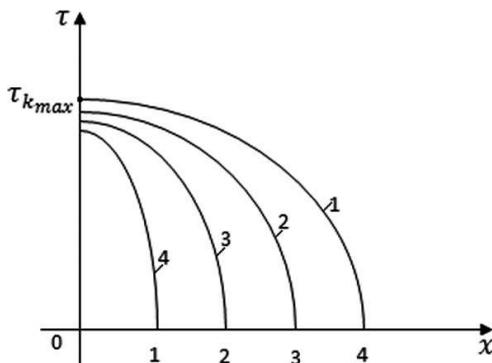


Рисунок 2. Изменение касательных напряжений по толщине слоя.

На поверхности слоя средние касательные напряжения равны

$$\tau_{cp} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}. \quad (16)$$

Значение  $\tau_{kmax}$  определится из выражения

$$\tau_{kmax} = \frac{2,3F_{тр}}{yb}, \quad (17)$$

где  $b$  — ширина полоски контакта.

Изменение касательных напряжений по толщине слоя приведено на Рисунке 2.

Таким образом, на границе зон сцепления и скольжения возникают максимальные сдвиговые напряжения  $\tau_{kmax}$  и именно на границе упроченного слоя возникают микротрещины вызванные касательными напряжениями.

### Список литературы:

1. Андреев А. В. Инженерные методы определения концентрации напряжений в деталях машин. М.: Машиностроение, 1976. 72 с.
2. Андреев А. В. Передача трением — 2-е изд. М.: Машиностроение, 1978. 176 с.
3. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1986. 512 с.

## ТЕРМОГИДРОПРИВОД ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

*Кузнецов Сергей Викторович*

*аспирант, УрГУПС, г. Екатеринбург*

*E-mail: [g555@yandex.ru](mailto:g555@yandex.ru)*

В настоящее время промышленность выпускает огромное количество разнообразных приводов вращательного движения, но в некоторых случаях требуется малогабаритный привод с высокой надежностью, удобным способом преобразования энергии и большим крутящим моментом при малых габаритах.

Всю совокупность этих требований может удовлетворить термогидропривод (ТГП) вращательного движения.

Выявить все достоинства и недостатки ТГП в полной мере возможно только в конкретных условиях эксплуатации.

К основным недостатками ТГП можно отнести:

- низкий КПД (не более 2 %);
- малую скорость (линейную или угловую);

- сложность изготовления профиля статора в модуле вращательного движения.

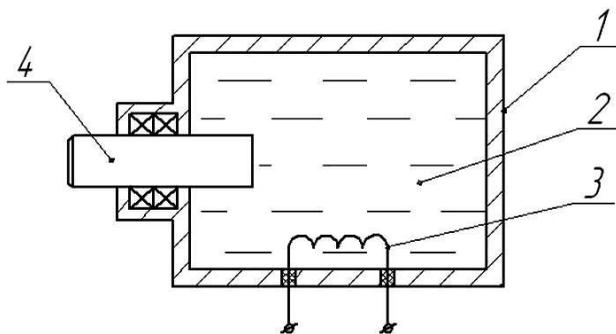
При сегодняшней точности изготовления деталей на станках с ЧПУ последний недостаток уже не является непреодолимым.

Главными достоинствами привода являются:

- возможность получения больших усилий и крутящих моментов на выходном звене [3, с. 30];
- способность работать при больших динамических нагрузках;
- отсутствие необходимости подачи жидкости извне;
- отсутствие насосов, фильтров, трубопроводов, то есть всех основных элементов, присущих обычной гидросистеме.

Простота ТГП как гидросистемы, заключающаяся в отсутствии насосов, трубопроводов, фильтров и т. п., не оставляет места для каких бы то ни было гидравлических сопротивлений, а, следовательно, и расчетов в привычном для гидропривода виде. Однако выходные характеристики ТГП во многом определяются такими свойствами рабочей жидкости, как плотность и вязкость.

На рисунке 1 показано принципиальное устройство простейшего силового модуля на основе ТГП. Он состоит из гидроцилиндра 1, полость 2 которого герметически закрыта и заполнена рабочей жидкостью. В полости расположен нагревательный элемент 3 [1, с. 14].

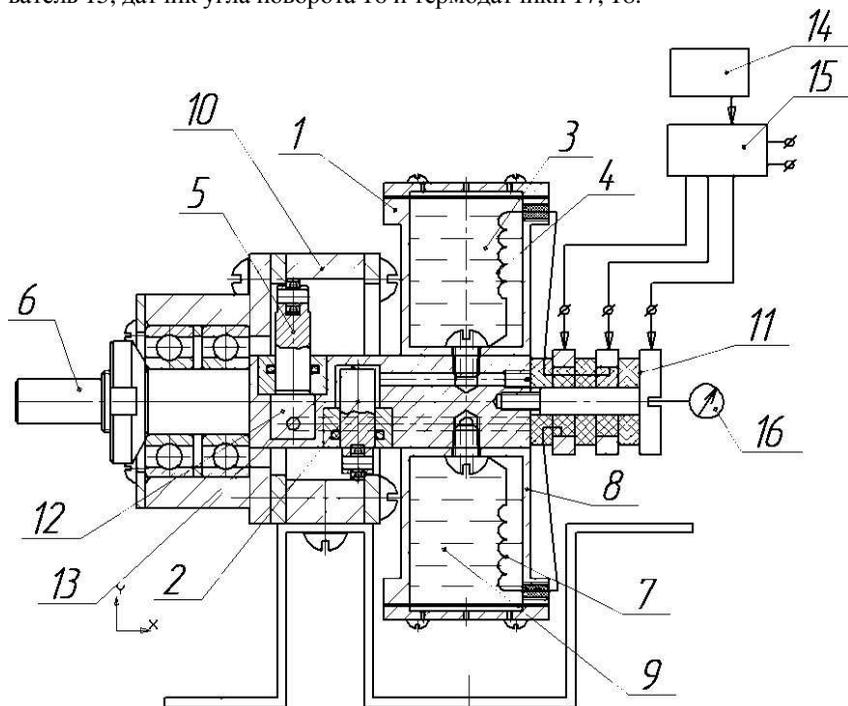


1 — корпус гидроцилиндра; 2 — полость;  
3 — нагревательный элемент; 4 — плунжер

**Рисунок 1 — Принципиальное устройство простейшего силового модуля**

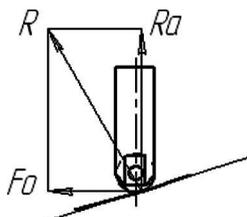
Устройство ТГП вращательного движения рассмотрим на примере конструкции демонстрационной модели (рисунок 2) [2]. ТГП содержит ротор 6, емкости 1 и 8, в которых находится рабочая жидкость, нагре-

ватели 4 и 7, токосъемник 11, через который идет включение в коммутирующую систему. Емкости 1 и 8 соединены каналами с полостями цилиндров 13 и 12 соответственно. Плунжеры 5 и 2 контактируют с поверхностью расточки статора 10. Коммутирующая система представляет собой управляющий контроллер 14, силовой преобразователь 15, датчик угла поворота 16 и термодатчики 17, 18.



**Рисунок 2 — Устройство ТГП вращательного движения**

На рисунке 3 показаны силы, действующие при взаимодействии плунжера и статора.



**Рисунок 3 — Силы действующие на плунжер**

Геометрия профилированной поверхности статора такова, что одной из составляющих реакции  $R$  со стороны статора на поршень является осевая сила  $R_a$ . В результате силового взаимодействия плунжера и статора появляется окружная сила  $F_o$  на поршне, создающая вращающий момент  $T$  на роторе, содержащем блок цилиндров. Контакт плунжера со статором (рисунок 4) осуществляется с помощью подшипника качения, поэтому для простоты примем, что трение в паре плунжер — статор отсутствует.

Блок цилиндров (а вместе с ним и весь ротор гидродвигателя) поворачивается и занимает положение, в котором плунжер 2 выдвинут на максимальную величину.

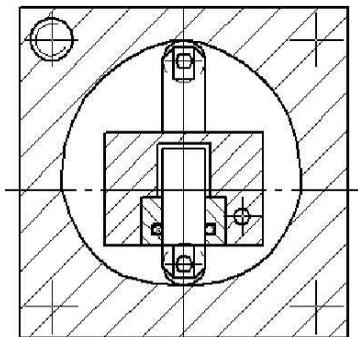
По сигналу датчика 16 управляющий контроллер отдает команду силовому преобразователю на отключение нагревателя 4 и включение нагревателя 7. Жидкость в емкости 1 начинает охлаждаться, а в емкости 8 — нагреваться, плунжер 2 начинает углубляться, в то время как начинает выдвигаться плунжер 5 до соприкосновения со статором 10. Теперь сила  $F_o$  действует на плунжер 5, вращение ротора б продолжается. По достижении плунжером 5 определенного положения с датчика 16 поступает сигнал на управляющий контроллер 14 и цикл повторяется.

В начальный момент нагреватели 4 и 7 обесточены, температура в емкостях 1 и 8 равна температуре окружающей среды.

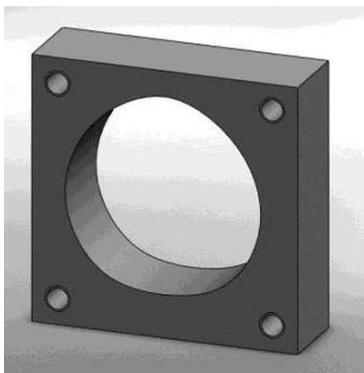
Включение привода осуществляется подачей напряжения от силового преобразователя 15 по сигналу управляющего контроллера 14 на нагреватель 4. Жидкость в емкости 1 нагревается, ее объем увеличивается, и часть жидкости поступает через канал в полость цилиндра 13. Плунжер 2 начинает выдвигаться и воздействовать на внутреннюю профилированную поверхность статора 10.

На рисунке 5 показана трехмерная модель статора.

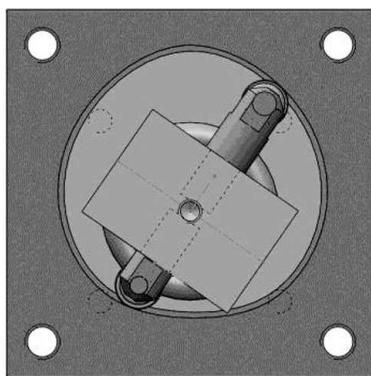
Положение ротора и статора после начала работы ТПП показано на рисунке 6. Также из рисунка видно как взаимодействуют плунжеры ТПП с поверхностью статора.



*Рисунок 4 — Расположение плунжеров в статоре*



*Рисунок 5 — Трехмерная модель статора*



*Рисунок 6 — Положение ротора относительно статора*

Предложенный ТПП упрощает конструкцию привода путем исключения гидросистемы, а так же обеспечивает регулируемое не прямое преобразование электрической энергии в механическую.

### **Список литературы:**

1. Кузнецов С. В. Теоретические основы работы термогидропривода // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2011. № 7. С. 236.
2. Роторно-поршневой гидродвигатель. Пат. 2424445 Рос. Федерация.
3. Таугер В. М. Сравнительная оценка надежности механизмов регулирования шахтных осевых вентиляторов // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 3.

## **АППРОКСИМАТИВНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОЦЕНОК РЕСУРСА**

***Подвойский Александр Олегович***

*ассистент кафедры «Техническая механика и детали машин» СГТУ  
им. Гагарина Ю. А., г. Саратов  
E-mail: [apodvoyskiy08@gmail.com](mailto:apodvoyskiy08@gmail.com)*

***Боровских Валентин Ефимович***

*д-р техн. наук, профессор кафедры «Техническая механика и детали  
машин» СГТУ им. Гагарина Ю. А., г. Саратов*

Теория прогнозирования оценок усталостной долговечности сложных механических систем насчитывает десятки различных моделей, методов и подходов, однако задача прогнозирования ресурса технических объектов (к которым относят несущие системы транспортных машин, силовые элементы двигателей и т. д.), функционирующих в условиях эксплуатационного нагружения, по-прежнему остается одной из не решенных задач прикладной механики. Следуя работе [1], заметим, что развитие аппроксимативных моделей прогнозирования, адаптированных к инженерным расчетам, является актуальным направлением динамики и прочности механических систем.

В работе [2] была предложена феноменологическая модель исчерпания прочностных характеристик объекта, основанная на гипотезе об исчерпании предела выносливости материала  $\sigma_{-1д}$  и

кинетическом уравнении континуальной механики повреждаемости сплошных сред

$$\begin{aligned} \frac{dv_k^d}{dt} &= \beta \frac{2\pi f}{(ak_a)^{-1} \sigma_{-1}^{(k-1)}} \cdot \frac{\sigma_x(t)}{(1-v_k^d)^r}, \\ v_k^d &= 1 - \sqrt[r+1]{1 - \beta \frac{2\pi f(r+1)}{(ak_a)^{-1} \sigma_{-1}^{(k-1)}} \int_0^t \sigma_x(\tau) d\tau} \\ \sigma_{-1}^{(k)} &= \sigma_{-1}^{(k-1)} \left[ 1 - \beta \frac{2\pi f(r+1)}{(ak_a)^{-1} \sigma_{-1}^{(k-1)}} \int_0^t \sigma_x(\tau) d\tau \right]^{\frac{\theta}{r+1} \xi_{k-1}^\lambda} \\ &\quad (k=1, \dots, q) \quad \text{или} \\ \sigma_{-1}^{(k)} &= \sigma_{-1}^{(0)} \prod_{l=0}^k \left[ 1 - \beta \frac{2\pi f(r+1)}{(ak_a)^{-1} \sigma_{-1}^{(k-1)}} \int_0^t \sigma_x(\tau) d\tau \right]^{\frac{\theta}{r+1} \xi_l^\lambda} \\ \xi_l &= \frac{\sigma_{\max}^{(l+1)}}{\sigma_{-1}^{(l)}} \quad \sigma_{-1}^{(0)} = 0.5\sigma_{-1\text{д}} \end{aligned} \quad (1)$$

где:  $v_k^d$  — текущая скалярная мера усталостных повреждений;

$\sigma_{-1}^{(k)}$  — текущее значение предела выносливости материала, МПа;

$f$  — эффективная частота процесса, Гц;

$a$  — коэффициент в корреляционной зависимости между пределом выносливости и пределом прочности по Эйхингеру;

$k_a$  — коэффициент порога чувствительности;

$\beta$  — коэффициент пропорциональности;

$r, \theta, \lambda$  — материальные параметры модели,

$q$  — число ступеней на траектории деградационного процесса;

$\sigma_{\max}^{(l+1)}$  — максимальное значение процесса нагружения  $\sigma_x(t)$  на отрезке  $[t_1, t_2]$ ;  $\{t_i\}_{i=1,2}$  — точки пересечения реализации процесса нагружения  $\sigma_x(t)$  с текущим пределом выносливости  $\sigma_{-1}^{(k)}$ .

Как показал сравнительный анализ прогностических оценок ресурса найденных по модели (1)  $Y_{PD}^{RM}$  и по модели Полякова-Болотина [3], для различных комбинаций параметров автокорреляционной функции и кривой выносливости Велера наибольшее отклонение для модели (1) не превосходит 13 %; однако использование прогностической модели (1) в форме рекуррентного соотношения встречает некоторые сложности вычислительного характера, по

этой причине представляется разумным разработать более простую и удобную для расчета модель.

Используя упрощенную методику идентификации материальных параметров (и полагая  $r = 1$ ,  $a = k_a = 0.5$ ), перепишем модель (1) для приращения ординаты деградационного процесса  $\Delta\sigma_{-1}^{(k)}$  [ $\Delta\sigma_{-1}^{(1)} = \Delta\sigma$ ] в виде:

$$\Delta\sigma = \beta \frac{\theta\pi f}{2} \left[ \frac{\sigma_{\max}^{(k)}}{\sigma_{-1}^{(0)}} \right]^{\lambda} \int_0^t \sigma_x(\tau) d\tau \quad \theta \approx \frac{2N_0^{-1}}{2^{\lambda+1}\beta}, \quad \lambda = m - 1 \quad (2)$$

где:  $N_0$  — абсцисса точки перегиба кривой усталости;

$m$  — показатель угла наклона левой ветви кривой усталости.

Выразив  $\omega = \int_0^t \sigma_x(\tau) d\tau$  в соотношении (2) через интеграл Дирихле  $j(\vartheta) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{1}{\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{iu\vartheta} \frac{du}{u} \right]$ , получим выражение для средней площади  $\omega$  стационарного гауссовского процесса

$$\bar{\omega} = \sqrt{2\pi} \frac{s_{\dot{\sigma}}^2}{s_{\sigma}} \quad \text{или} \quad \bar{\omega} = \sqrt{2\pi} \frac{s_{\sigma}}{w_0}, \quad (3)$$

где  $s_{\sigma}^2$  — дисперсия процесса;

$s_{\dot{\sigma}}^2$  — дисперсия первой производной процесса;

$w_0$  — круговая частота процесса по нулям,

$w_0 = 2\pi f$ .

Подставив (3) в (2), получим  $\Delta\sigma = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{N_0^{-1}}{2^m} \left[ \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{-1}^{(0)}} \right]^{m-1} s_{\sigma}$ . Теперь

определим число циклов до разрушения  $q = \frac{\sigma_{-1}^{(0)}}{\Delta\sigma} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{N_0 \sigma_{-1\text{д}}^m}{\sigma_{\max}^{m-1} s_{\sigma}}$ .

И, наконец, выразив  $\sigma_{\max}$  через среднеквадратическое отклонение  $s_{\sigma}$  и разделив последнее соотношение на эффективную частоту процесса  $f$ , получим формулу для расчета усталостной долговечности

$$Y(s_\sigma) = \frac{\sqrt{8\pi}N_0}{3^{m-1}w_0} \left( \frac{\sigma_{-1д}}{s_\sigma} \right)^m. \quad (4)$$

Модель (4) содержит ряд упрощений и потому нуждается в коррекции: как показал статистический анализ результатов вероятностного моделирования, в первой итерации соотношение (4) можно переписать в виде

$$Y_{PD}^{AM}(s_\sigma) = Q_p \frac{\sqrt{8\pi}N_0}{3^{m-1}w_0} \left( \frac{\sigma_{-1д}}{s_\sigma} \right)^m, \left\{ \begin{array}{l} Q_p = m, (nbp), \\ Q_p = m + 1, (bbp), \end{array} \right. \quad (5)$$

где  $(nbp), (bbp)$  — условное обозначение соответственно узкополосного и широкополосного процесса.

Теперь рассмотрим альтернативные модели и проведем сравнительный анализ оценок усталостной долговечности  $Y(s_\sigma)$ .

В работе D. Benasciutti и R. Tovo [4] рассматривается ряд моделей для расчета оценок ресурса (в моделях реализован метод потоков дождя «RFC»):

- модель Narrow-band approximation: при нагружении широкополосными процессами оценка ресурса оказывается консервативной

$$Y_{RFC}^{NB}(s_\sigma) = \left\{ \frac{f}{C} (\sqrt{2}s_\sigma)^m \Gamma\left(1 + \frac{m}{2}\right) \right\}^{-1}, \quad C = \sigma_{-1д}^m N_0, \quad (6)$$

где:  $\Gamma(\cdot)$  — гамма-функция.

- модель T. Dirlik [5]: не имеет теоретической основы и в силу особенностей математической оболочки модели делает невозможным переход к негауссовским процессам [4]

$$Y_{RFC}^{DK}(s_\sigma) = \left\{ \frac{v_p}{C} s_\sigma^{2m} \left[ D_1 Q^m \Gamma(1+m) + (\sqrt{2})^m \Gamma\left(1 + \frac{m}{2}\right) \cdot (D_2 |R|^m + D_3) \right] \right\}^{-1},$$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{\sqrt{\lambda_0 \lambda_4}}, \quad \lambda_d = \int_0^{+\infty} w^d S(w) dw, \quad v_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\lambda_4}{\lambda_2}},$$

$$D_1 = \frac{2(x_m - \alpha_2^2)}{1 + \alpha_2^2}, \quad x_m = \frac{\lambda_1}{\lambda_0} \sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_4}}, \quad (7)$$

$$D_2 = \frac{1 - \alpha_2 - D_1 - D_1^2}{1 - R}, \quad D_3 = 1 - D_1 - D_2,$$

$$Q = \frac{1.25(\alpha_2 - D_3 - D_2 R)}{D_1}, \quad R = \frac{\alpha_2 - x_m - D_1^2}{1 - \alpha_2 - D_1 + D_1^2}$$

где:  $\nu_p$  — частота процесса по экстремумам;

$S(w)$  — спектральная плотность процесса;

$\{D_i\}_{i=1}^3, Q, R$  — параметры оптимальной подгонки.

• модель W. Zhao и M. J. Baker [6]: как показывают исследования [4], оценка Zhao-Baker не может быть применена к процессам с параметром широкополосности  $\alpha_2 = 0.1$

$$Y_{RFC}^{ZB}(s_\sigma) = \left\{ \nu_p s_\sigma^{2m} \left[ \gamma a^{-\frac{m}{b}} \Gamma\left(1 + \frac{m}{b}\right) + (1 - \gamma) 2^{\frac{m}{2}} \Gamma\left(1 + \frac{m}{2}\right) \right] \right\}^{-1},$$

$$\gamma = \frac{1 - \alpha_2}{1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) a^{-1/b}}, \quad a = 8 - 7\alpha_2, \quad (8)$$

$$b = \begin{cases} 1.1, & \alpha_2 < 0.9, \\ 1.1 + 9(\alpha_2 - 0.9), & \alpha_2 \geq 0.9, \end{cases}$$

где:  $\gamma$  — весовой коэффициент, ( $0 \leq \gamma \leq 1$ );

$a, b$  — параметры закона Вейбулла.

В работе [3] Б. Н. Поляков предлагает расчетно-экспериментальный подход к построению оценки усталостной долговечности (сформированный на основе корректного применения математических методов теории случайных величин и теории выбросов), учитывающий особенности статистических характеристик случайной кривой усталости и нагруженности в форме автокорреляционной функции, что позволяет отказаться от различных методов схематизации

$$Y_{PL}(s_\sigma) = 2\pi \sqrt{s_\sigma^2 s_\sigma^{-2}} N_0 \sigma_{-1д}^m [F(m, \sigma_{-1д})]^{-1},$$

$$F(m, \sigma_{-1д}) = \sum_{k=0}^m C_m^k \cdot s_\sigma^{m-k} m_\sigma^k 2^{\frac{m-k}{2}} \Gamma\left(\frac{m-k+2}{2}\right) P\left(\frac{\sigma_{-1д} - m_\sigma}{s_\sigma}, m-k+2\right), \quad (9)$$

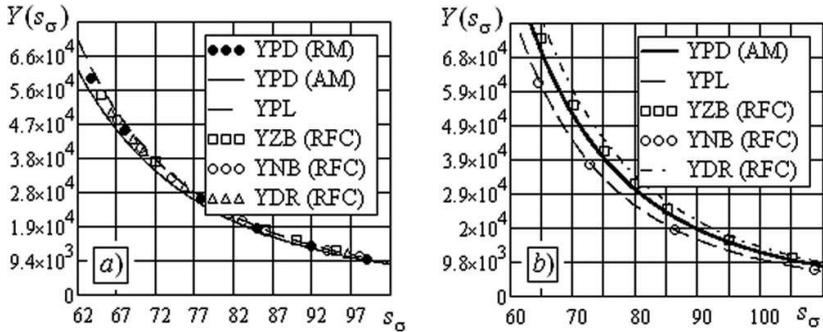
где:  $C_m^k$  — число сочетаний;

$m_\sigma$  — математическое ожидание процесса;

$P(\cdot)$  — функция Пирсона.

На рис. 1 изображены кривые усталости по моделям (1), (5)—(9) для случая нагружения стационарными гауссовскими стохастическими

процессами с автокорреляционной функцией (АКФ) экспоненциально-косинусного типа  $k_{\sigma}(\tau) = \exp(-\alpha^2 \tau^2) \cos(\beta \tau)$ .



**Рис. 1. Кривые усталости**  
*a) узкополосный процесс, b) широкополосный процесс*

Параметры АКФ и кривой усталости для моногармонического нагружения:

- рис.1, a)  $\alpha = 3, c^{-1}$ ;  $\beta = 55, c^{-1}$ ;  $\sigma_{-1d} = 85, \text{МПа}$ ;  $m = 4$ ;  
 $N_0 = 1.3 \cdot 10^6$ ;
- рис.1, b)  $\alpha = 35, c^{-1}$ ;  $\beta = 8, c^{-1}$ ;  $\sigma_{-1d} = 65, \text{МПа}$ ;  $m = 4$ ;  
 $N_0 = 1.3 \cdot 10^6$ .

Таким образом, как это видно из рис. 1 расчетные оценки ресурса найденные с помощью аппроксимативной модели (5), с достаточной для инженерной практики точностью близки к оценкам, вычисленным по хорошо известным апробированным моделям.

Модель (5), также как и рассмотренные модели корректно учитывает влияние прочностных характеристик объекта и спектрального состава стохастического процесса нагружения, однако в отличие от моделей (7)—(9) удобнее в использовании и не требует сложных вычислений.

Необходимо подчеркнуть, что аппроксимативная модель (5) представляет собой лишь одно из приближений общей модели (1) для случая нагружения стационарными гауссовскими процессами, и только указывает на то обстоятельство, что общая рекуррентная модель (1) в частном случае (стационарные процессы) дает оценки, согласующиеся с оценками, найденными с использованием общепринятых моделей.

Вообще же модель (1) позволяет оперировать достаточно широким классом стохастических процессов нагружения, включающим нестационарные, негауссовские и другие процессы.

### **Список литературы:**

1. Багмутов В. П. Прогнозирование надежности и долговечности углеродистых сталей при статистическом моделировании случайного внешнего нагружения / В. П. Багмутов, А. Н. Савкин // Известия Волгоградского государственного технического университета. — 2007. — № 1(27). — Вып. 1. — С. 12—17.
2. Подвойский А. О. Прогнозирование оценки ресурса технического объекта по критерию текущего значения предела выносливости / А. О. Подвойский, В. Е. Боровских // Вестник Саратовского государственного технического университета. — 2011. — № 1(52). — Вып. 1. — С. 84—88.
3. Поляков Б. Н. Методика оценки срока службы деталей с использованием теорий случайных величин и случайных процессов и ее применение / Б. Н. Поляков // Вестник машиностроения. — 2007. — № 2. — С. 28—34.
4. Benasciutti D. Comparison of spectral methods for fatigue analysis of broad—band Gaussian random processes / D. Benasciutti, R. Tovo // Probabilistic Engineering Mechanics. — 2006. — № 21. — P. 287—299.
5. Dirlik T. Application of computers in fatigue analysis: Thesis (Ph.D.); University of Warwick, Dept. of Engineering (UK). — Warwick, 1985 — 241 p.
6. Zhao W. On the probability density function of rainflow stress range for stationary Gaussian processes / W. Zhao, M. J. Baker // International Journal of Fatigue. — 1992. — № 14(2). — P. 121—135.

## СЕКЦИЯ 2.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

#### ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

*Ласица Александр Михайлович*

*канд. техн. наук, доцент каф. «Физика», ОмГТУ, г. Омск*

*Чуранкин Вячеслав Геннадьевич*

*канд. техн. наук, преподаватель каф. «Технология машиностроения»*

*ОмГТУ, г. Омск*

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

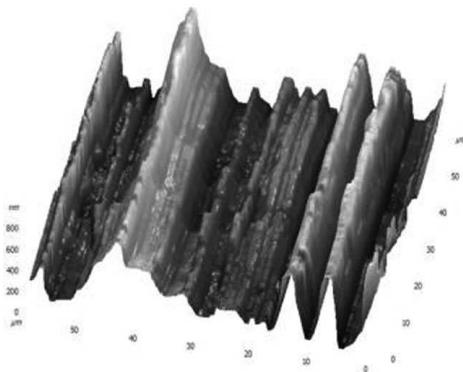
Модифицирование поверхностного слоя одна из наиболее распространенных в промышленности технологических операций. Наряду с традиционными методами обработки все большее распространение получают методы основанные на обработке концентрированными потоками энергии. Таким методам присущи высокая степень экологической чистоты, малый расход материала, легкость управления параметрами процесса. Одна из причин недостаточного внедрения данных методов в производство связана отсутствием методик, позволяющих предсказать влияние обработки на эксплуатационные свойства изделий. Традиционные методы исследования часто требуют долгосрочных ресурсных испытаний, что не всегда приемлемо. Стремительное развитие измерительной техники в последние десятилетия и резкое снижение ее стоимости позволяет рекомендовать для использования в промышленности ряд методик, до этого использовавшихся преимущественно в физических лабораториях. В статье рассмотрено применение таких методов для анализа эксплуатационных свойств поверхностных слоев обработанных ионными пучками.

Применение ионных пучков позволяет получать поверхностные слои с уникальным набором свойств, однако глубина модифицированного слоя не всегда достаточна — зона легирования для промышленно применяемого диапазона энергий обычно составляет десятки-сотни

нанометров [1]. Механические методы обработки не позволяют получать поверхностные слои со значительными отклонениями от равновесных, но применение таких методов не требует специального дорогостоящего оборудования и позволяет производить упрочнение на глубину порядка сотен микрометров. Широкие перспективы открывает использование комплексных методов обработки, сочетающих в себе достоинства обоих методов.

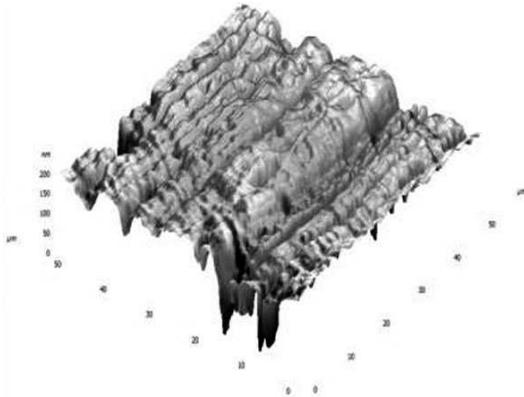
По мнению авторов, наиболее перспективным является использование в комплексе с ионной имплантацией метода накатывания. Предпочтение, отдаваемое этому методу, основано, прежде всего, на высокой производительности. Кроме того, метод может использоваться как при формообразовании, так и упрочнении поверхностей деталей различной геометрической формы. Имеется возможность упрочнения локальных участков, при этом может быть значительно улучшена шероховатость поверхности и повышена твердость.

Исследование влияния комплексной обработки на шероховатость поверхности проводилось методом атомной силовой микроскопии на сканирующем зондовом микроскопе SolverPro. Объектами исследования были шлифованные образцы из стали 95X18 с твердостью HRC 53. Фотография поверхности исходного образца представлена на **рис. 1**. Высота микропиков составляет 500-700нм.



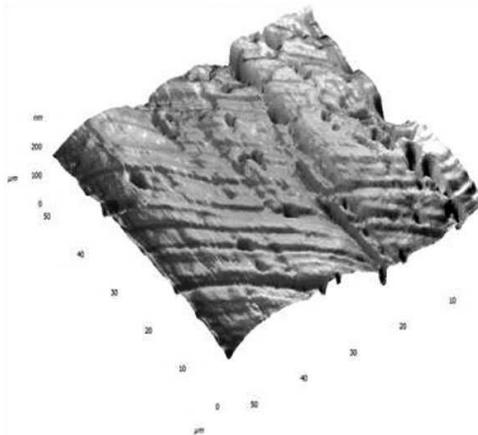
**Рис. 1. Поверхность исходного образца**

Накатывание проводилось твердосплавным роликом из сплава ВК8 (твердость ролика HRC 86), прижимающее усилие составляло 2000Н. Поверхность образца представлена на **рис. 2**. Влияние накатки прослеживается в увеличении степени однородности поверхности, уменьшении шероховатости (высота микропиков после обработки 150—200 нм). Твердость возросла до HRC 56, глубина модифицированного слоя при выбранном режиме обработки — порядка 100 мкм.



*Рис. 2. Поверхность накатанного образца.*

Ионная имплантация осуществлялась ионами Ta до дозы насыщения, энергия имплантируемых частиц составляла 110 кэВ. Однородность поверхности возросла за счет преимущественного распыления микропиков, высота которых после обработки не превышала 80 нм (**рис. 3**). Подобные исследования выполненные на стали 38Х2МЮА показали значительное увеличение микротвердости поверхностного слоя. Так, имплантация ионов Mo в аналогичном диапазоне энергий позволила получить поверхностный слой с твердостью до HV 875 (что соответствует HRC 66) [3]. Аналогичных результатов следует ожидать и для стали 95Х18.



*Рис. 3. Поверхность имплантированного образца*

Интенсивность износа поверхностного слоя зависит не только от его характеристик, но и от ряда внешних параметров, определяемых условиями работы. Многофакторность задачи чрезвычайно усложняет полный анализ, но в ряде случаев возможно приемлемое описание на основе прозрачной физической модели предлагаемой авторами [4].

Рассмотрим изменение некоторой эксплуатационной величины  $Z$  в процессе износа (это может быть значение коэффициента трения, твердости и т. д.). Предполагается что для модифицированного слоя значение данной величины —  $Z_m$ , а для основного материала —  $Z_0$ . Сделаем несколько допущений о характере износа:

1) предположим, что в процессе износа на поверхности образуются области, не покрытые модифицированным слоем и обладающие свойствами основного материала. Взаимным влиянием областей с разными физическими свойствами будем пренебрегать. Вклад модифицированного слоя в значение величины  $Z$  будем считать пропорциональным площади занимаемой модифицированным слоем;

2) предположим, что износ носит усталостный характер; разрушение модифицированного слоя происходит в пределах площадей фактического контакта, случайно распределенных по поверхности, а вероятность разрушения пропорциональна числу циклов воздействия.

Следствием сделанных предположения является экспоненциальное убывание площади модифицированного слоя в зависимости от числа циклов нагружения

$$S = S_0 e^{-\frac{n}{n_0}}$$

( $S_0$  — значение первоначальной площади модифицированного слоя, параметр  $n_0$  соответствует числу циклов, за которое будет изношен модифицированный слой). Динамика значения величины  $Z$  носит более сложный характер

$$Z = Z_m e^{-\frac{n}{n_0}} + Z_0 (1 - e^{-\frac{n}{n_0}})$$

Последнее уравнение является частным случаем известного в теории вероятностей распределения Вейбулла-Гнеденко используемого в физике для описания переходных процессов, а в трибологии для описания процессов износа. Точность прогнозирования по уравнению тем выше, чем ближе динамика реального процесса к динамике переходных процессов (наибольшее согласие с экспериментом будет наблюдаться для слоев, износ которых требует большого числа циклов нагружения).

Для проверки сделанных предположений образцы из стали 95X18 в виде цилиндров диаметром 40 мм и толщиной 12 мм испытывались на

машине трения. В качестве сравнения выбирались: исходный образец с твердостью HRC 53, образец накатанный роликом из сплава ВК8 (твердость HRC 56) и образец, прошедший комплексную обработку в виде накатки и последующей ионной имплантации ионами Та при ускоряющем напряжении 110 кэВ до дозы насыщения. Контртелом в эксперименте служил цилиндр из закаленной стали ШХ15 (размеры аналогичны размерам образцов, твердость HRC 63). Контртело было зафиксировано, образец вращался с частотой 150 об/мин. Трение осуществлялось в отсутствие смазки, прижимающее усилие составляло 100 Н. Определены момент силы трения и коэффициент трения через каждые 100 циклов. Полученные результаты аппроксимировались аналитической зависимостью с целью определения параметра  $n_0$ . Результаты представлены в таблице 1.

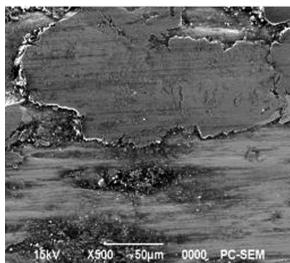
*Таблица 1*

**Число циклов до разрушения**

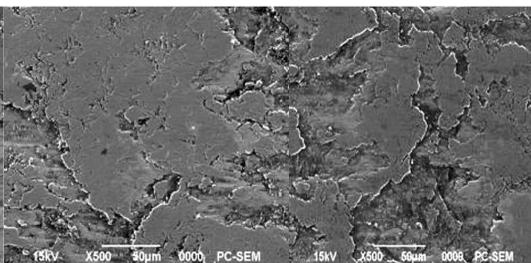
<b>Обр</b>	<b>Исхо</b>	<b>Наката</b>	<b>Комплексная</b>
$n_0$	393	536	1426

Состояние поверхности образцов исследовалось на электронном микроскопе (JEOL 5700) после 3000 циклов нагружения.

Результаты представлены на **рис. 4, 5, 6.**



*Рис. 4. Исходный образец.*



*Рис. 5. Накатанный образец.*

*Рис. 6. Комплексно обработанный образец.*

Для всех образцов характерно наличие на поверхности следов третьего тела, образующегося в процессе трения согласно гипотезе Крагельского [2]. На поверхности необработанного образца (рис. 4) присутствуют локальные области значительного износа, по-видимому, являющиеся основным источником образования задира. Износ накатанного образца (рис. 5) и образца прошедшего комплексную

обработку (рис. 6) более равномерен, в последнем случае износ выражен значительно слабее. Данные электронной микроскопии хорошо коррелируют с результатами расчета числа циклов необходимых для разрушения модифицированного слоя.

Представленные результаты наглядно показывают, что использование современных физических методов исследования позволяет сделать заключение о ряде эксплуатационных свойств, не прибегая к длительным и дорогостоящим натурным экспериментам. Использование простой физической модели для описания износостойкости модифицированных слоев является оправданным. Модель верно описывает динамику изменения эксплуатационных характеристик. Точность прогнозов в рамках модели вполне достаточна для практического использования. Отсутствие структурно зависимых параметров делает модель удобной в применении.

### **Список литературы:**

1. Аброян А. И., Андронов А. Н., Титов А. И. Физические основы электронной и ионной технологии. М :Высш. Школа, 1984. — 320 с.
2. Крагельский И. В. Трение и износ. М :«Машиностроение», 1968. — 480 с.
3. Ласица А. М. Исследование качества боковых поверхностей зубьев шестерен, модифицированных ионами иттрия и молибдена / А. М. Ласица, В. Г. Чуранкин, А. П. Моргунов // Вестник Курганского государственного университета. — Курган: Изд-во КГУ, 2006. — № 1(05). — С. 59—60.
4. Ласица А. М. Феноменологическая модель прогнозирования эксплуатационных свойств модифицированного поверхностного слоя / А. М. Ласица и др. // Вестник академии военных наук (спецвыпуск). — Москва — 2010 — № 3(32) — С. 232—236.

### СЕКЦИЯ 3.

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ

### ПОЛЕВОЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ РАДОНА И ТОРОНА С ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА

*Черепнев Максим Святославович*

*аспирант, ТПУ, г. Томск*

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

*Яковлева Валентина Станиславовна*

*канд. физ.-мат. наук, доцент ТПУ, г. Томск*

*Вуколов Артем Владимирович*

*канд. физ.-мат. наук, старший преподаватель ТПУ, г. Томск*

*Выполнено при поддержке ФЦП ГК № 02.740.11.0738.*

#### **Введение**

Комплексы для непрерывного измерения плотности потока радона с поверхности земли могут быть полезны при изучении связи динамики поля подпочвенного радона с изменением напряженно-деформированного состояния земной коры, а также литосферно-атмосферных связей. Их использование на станциях мониторинга, совместно с приборами для измерения поровой активности радона в почвенном воздухе, позволит увеличить достоверность прогнозных оценок, а также даст возможность определять или уточнять параметры модели переноса радона в геологической среде и приземной атмосфере. Повышение содержания радона в зонах разлома нашло применение при исследовании тектонических движений в областях повышенной сейсмичности. В период Ташкентского землетрясения 1966 г. было замечено, что концентрация радона в подземных водах начинает возрастать за несколько дней до землетрясения, повышаясь в 5—7 раз непосредственно перед толчком [1]. Сегодня использованием данных физических процессов для мониторинга сейсмической активности зоны наблюдения занимаются в Индии, Израиле, США,

Тайване, Турции и других странах. В России, для построения подобных систем мониторинга необходимо создание устройств, которые удовлетворяли бы ряду особенностей характерных для нашей страны, например, аномальных погодные условия в зимние — весенние периоды года. Основной трудностью при создании систем мониторинга является дороговизна подобных устройств, это и явилось заделом к данной работе: необходимость поиска простого, дешевого и надежного метода измерения плотности потока радона (ППР) и торона (ППТ) с использованием накопительной камеры (НК).

### **Основная часть**

#### Описание устройства

В процессе выбора оптимальной накопительной камеры автором было рассмотрено множество вариантов как накопительной камеры, так и способов измерения радиоактивных аэрозолей. В итоге было отдано предпочтение статической накопительной камере с жестко прикрепленным к верхней части камеры детектором.

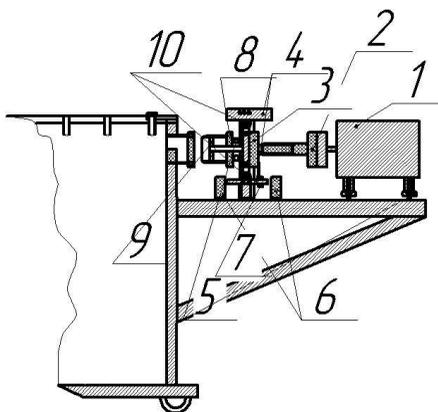
Камера прототипа полевого устройства представляет из себя отрезок стальной трубы с толщиной стенки 10 мм, диаметром 219 мм и длиной 500 мм. К торцу трубы приварено днище — основание камеры, представляющее из себя железный лист размером 300x300 мм и толщиной 3 мм. Проварка днища осуществлена по всему периметру трубы, для обеспечения герметичности внутреннего объема накопительной камеры. С внешней стороны по образующей трубы приварен шток, служащий направляющей для перемещения детектора в вертикальной плоскости. Фотография устройства представлена на рис. 1.

Для проветривания внутреннего объема камеры с внешней стороны трубы сбоку смонтирована вентиляционная система, представленная на рисунках 1 и 2, в состав которой входит: 1 — двигатель, 2 — вал двигателя с «гайкой», 3 — «винт», 4 — рельсы, 5 — вибрационные прокладки, 6 — концевые выключатели, 7 — выключатель, 8 — вентиляционный клапан, 9 — уплотнительная прокладка вентиляционного клапана, 10 — ролики.

В качестве детекторов использовались стандартные блоки детектирования БДЗА2—01 и БДПА—01, технические характеристики которых представлены в таблице 1 и таблице 2 соответственно. Регистрация  $\alpha$ -частиц в этих детекторах осуществляется посредством люминофора из сернистого цинка активированного серебром ZnS(Ag), нанесенным на органическое стекло, совмещенным с фотоэлектронным умножителем (ФЭУ) и блоком электроники.



*Рисунок 1. Общий вид устройства*



*Рисунок 2. Схема вентиляционной системы накопительной камеры*

*Таблица 1*

**Технические характеристики БДЗА2—01**

Тип фотоэлектронного умножителя	ФЭУ-49Б
Энергия регистрируемой частицы $\alpha$ -излучения — не менее, МэВ	5,15
Площадь детектора, см <sup>2</sup>	200
Эффективность регистрации при энергии $\alpha$ -излучения 5,15 МэВ, %: с двумя слоями защитной пленки — не менее	20
с одним слоем светозащитного экрана — не менее	52
Уровень собственного фона — не более, имп./мин	5

Таблица 2

## Технические характеристики БДПА—01

Диапазон измерения плотности потока альфа-частиц, част./((мин·см <sup>2</sup> ))	0,1 — 10 <sup>5</sup>
Энергия регистрируемой частицы $\alpha$ -излучения, МэВ	3 — 7
Площадь детектора, см <sup>2</sup>	113,1
Диапазон измерения поверхностной активности альфа-излучения, Бк·см <sup>2</sup>	3,4·10 <sup>-3</sup> — 3,4·10 <sup>3</sup>
Основная погрешность измерения плотности потока альфа-частиц — не более, %	± 20
Чувствительность к альфа-излучению источника <sup>239</sup> Pu, (имп·с <sup>-1</sup> )/(част·мин <sup>-1</sup> ·см <sup>-2</sup> )	0,15
Диапазон рабочих температур, °С	-30 — +50
Относительная влажность воздуха при температуре 35°С, %	95

Прототип устройства после отладки всех блоков использовался как лабораторно-исследовательское устройство. Его камера, с одной стороны, может использоваться как емкость в которую помещается исследуемый грунт, в связи с этим высота накопительной камеры выбиралась такой, чтобы можно было исследовать гумусный слой грунта исследуемого ландшафта порядка 40 см и оставался промежуток грунт-детектор равный 10 см, необходимый для поглощения в воздухе частиц  $\alpha$ -излучения с энергией больше 7 МэВ, испускаемых из поверхностного слоя грунта внутри накопительной камеры устройства.

С другой стороны, размеры камеры позволяют поместить внутри камеры емкость с исследуемым грунтом не прибегая к помещению грунта непосредственно в камеру, что может ускорить поточные измерения. Металлические стенки камеры полностью исключают возможность просачивания аэрозолей в течение периода измерения.

## II. Работа устройства

Разработанное устройство позволяет производить непрерывные измерения величин ППР и ППТ, поскольку принцип действия основан на использовании автоматизированной накопительной камеры.

По сигналу с блока управления камера открывается для проветривания атмосферным воздухом для последующего измерения, затем закрывается на период измерения. Длительность времени накопления радона и торона программно можно варьировать в пределах 1—3 ч. Устройство управляется через интерфейс RS-232 посредством ПЭВМ типа IBM PC, сигналы с детектора поступают на АЦП, выполненный в интерфейсе PCI и смонтированный в системном блоке ПЭВМ, управляющей работой всего устройства.

### III. Результаты

Эксперименты проводились с разными типами грунтов. Доверительный интервал находился по методу наименьших квадратов. В среднем доверительный интервал составил 25 % с доверительной вероятностью 0,95.

На рисунке 3 приведены экспериментальные данные (динамика скорости счета импульсов альфа-излучения) при измерении маначитового песка. Вертикальными линиями отмечены периоды переключения камеры в режимы накопления (более длинный) и вентиляции (короткий). Поправочные коэффициенты для пересчета скорости счета импульсов в величины ППР и ППТ были определены относительным методом сравнения с результатами измерений аттестованного радиометра радона РРА-01М-03 и расчетными данными по диффузионной модели переноса радона в пористых средах.

По результатам измерений данной камерой были внесены корректировки в разработанный полевой комплекс с автономной накопительной камерой с сцинтилляционным альфа-детектором, работающим в счетном режиме.



*Рисунок 4. Динамика скорости счета импульсов*

### Заключение

Комплекс установлен на экспериментальной площадке ИМКЭС-ТПУ и позволяет производить длительные, непрерывные измерения без присутствия оператора. Его стоимость на порядок ниже зарубежных аналогов, в которых способы разделения радона и торона основаны на применении полупроводниковой альфа-спектрометрии. В России аналогов данному комплексу пока нет.

### Список литературы:

1. Титаева Н. А. Ядерная геохимия. М.: Издательство МГУ, 2000. — 336 с.

## СЕКЦИЯ 4.

### РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

#### АЛГОРИТМ ЭФФЕКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

*Грицан Олег Борисович*

*аспирант, КНИТУ им. А. Н. Туполева, г. Казань*

*E-mail: [oleggritsan@gmail.com](mailto:oleggritsan@gmail.com)*

На сегодняшний день существует проблема качества принимаемой навигационной информации. Одними из самых важных проблем при реализации приемников навигационных сигналов являются:

- Большое время поиска сигнала;
- Маленькая чувствительность принимаемого сигнала;
- Погрешность принимаемого навигационного сигнала.

Все текущие программно — аппаратные алгоритмы основаны на поиске сигнала корреляционными функциями. Лишь ряд фирм использует помимо стандартных алгоритмов методы для быстрого поиска. Для решения поставленных проблем (задач) дополнительно используется поиск с помощью быстрого преобразования Фурье. Формулы (1) и метод Фурье преобразования кратко описаны ниже.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n w_N^{kn}, w_N = e^{\frac{2\pi i}{N}}, k = 0 \dots N - 1, \quad (1)$$
$$x_k = \frac{1}{N} \sum_n^{N-1} X_n w_N^{-kn}$$

Покажем, как выполнить дискретное преобразование Фурье за  $O(N(p_1 + \dots + p_n))$  действий при  $N = p_1 p_2 \dots p_n$ . В частности, при  $N = 2^n$  понадобится  $O(N \log(N))$  действий.

Дискретное преобразование Фурье преобразует набор чисел  $a_0, \dots, a_{n-1}$  в набор чисел  $b_0, \dots, b_{n-1}$ , такой, что  $b_i = \sum_{j=0}^{n-1} a_j \varepsilon^{ij}$ , где  $\varepsilon^n = 1$  и  $\varepsilon^k \neq 1$  при  $0 < k < n$ . Алгоритм быстрого преобразования Фурье применим к любым коммутативным ассоциативным кольцам с единицей. Чаще всего этот алгоритм применяют к полю комплексных чисел ( $\varepsilon = e^{2\pi i/n}$ ) и к кольцам вычетов.

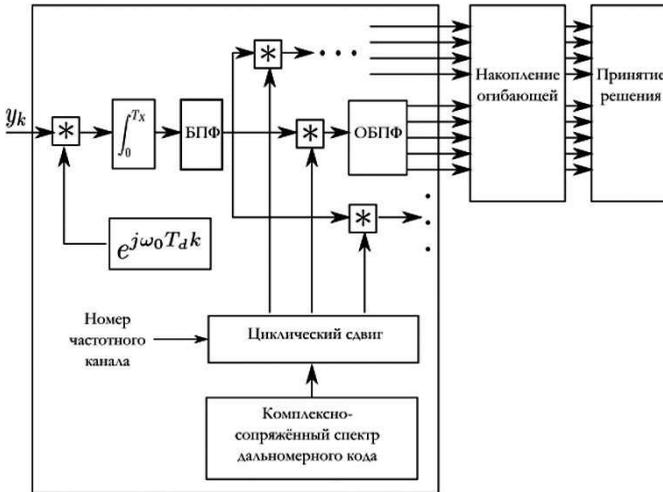
Основной шаг алгоритма состоит в сведении задачи для  $N$  чисел к задаче для  $p = N/q$  числам, где  $q$  — делитель  $N$ . Пусть мы уже умеем решать задачу для  $N/q$  чисел. Применим преобразование Фурье к наборам  $a_i, a_{q+i}, \dots, a_{q(p-1)+i}$  для  $i = 0, 1, \dots, q - 1$ . Покажем теперь, как за  $O(Np)$  действий решить исходную задачу. Заметим, что  $b_i = \sum_{j=0}^{q-1} \varepsilon^{ij} (\sum_{k=0}^{p-1} a_{kq} + j\varepsilon^{kiq})$ . Выражения в скобках нам уже известны — это  $i \pmod{p}$ -тое число после преобразования Фурье  $j$ -той группы. Таким образом, для вычисления каждого  $b_i$  нужно  $O(q)$  действий, а для вычисления всех  $b_i$  —  $O(Nq)$  действий, что и требовалось получить [1].

Данный алгоритм производит поиск сигнала в спектральной области, а затем передает тот участок, где присутствует сигнал, в коррелятор, который в свою очередь ищет сигнал уже во временной области. Данное программное решение позволило значительно сократить время поиска сигнала, однако это затруднило программно — аппаратную реализацию, и очень осложнило математический аппарат и алгоритм. Алгоритм быстрого поиска представлен на рисунке 1.

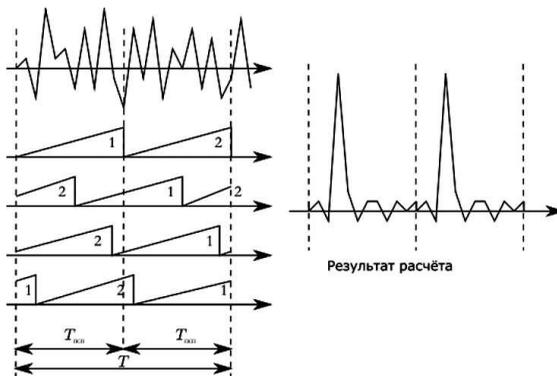
Следует также отметить, что Фурье преобразование обладает плохой частотно пространственной локализацией, а также сложными алгоритмами по последующей фильтрации полученных отчетов.

Применяемый на сегодняшний день алгоритм имеет недостаток, выражающийся в определённой избыточности вычислений [3]. Избыточность алгоритма можно проиллюстрировать с использованием рисунка 2. Объём предварительно накопленного массива данных определяется длительностью интервала накопления и шагом поиска. Длительность шага поиска определяется видом дальномерного кода, а длительность интервала накопления — требуемыми характеристиками обнаружения. В то же время количество символов на периоде дальномерного кода фиксирована. Если длительность интервала накопления будет в два раза больше, чем длительность периода кода, возникнет определённая избыточность. На рисунке 2 условно показан период накопления, содержащий два одинаковых периода дальномерного кода (изображены в виде треугольников). При расчёте корреляционных интегралов для разных значений задержек опорный сигнал сдвигается и специфика описанного в предыдущем разделе алгоритма такова, что рассчитываются значения при всех возможных задержках в диапазоне  $[0, T]$ . Так как период дальномерного кода в рассматриваемом случае в два раза меньше, опорный сигнал, сдвинутый на  $T/2$  совпадает с исходным. В результате одно и то же значение корреляционного интеграла рассчитывается два раза. На правой части рисунка изображён результат — рассчитанная функция содержит два одинаковых периода.

Как альтернатива Фурье преобразованию, для устранения выше обозначенных недостатков, предлагается в качестве быстрого поиска, использовать, Вейвлет — преобразования, в частотности лифтинг преобразования. Свойства Вейвлет функций — это разложить сигнал на ряд частотных фильтров, в основе, которой лежит базисная функция (например, «Мексиканская шляпа», «прямоугольное окно» и т. д.). Формула (2) и метод Вейвлет — преобразования применительно к мнимым и действительным сигналам кратко описаны ниже.



**Рисунок 1 — Алгоритм быстрого поиска сигнала**



**Рисунок .2 Избыточность алгоритма быстрого поиска основанного на быстрых преобразованиях Фурье**

$$\psi_{mk}(t) = a^{m/2}\psi(a^m t + k), \quad (2)$$

$$S(t) = \sum_{m,k=-\infty}^{\infty} S_{mk} \psi_{mk}(t)$$

Напомним условия точного восстановления для двух пар биортогональных фильтров. Рассмотрим две пары фильтров:  $(h, g)$  и  $(\tilde{h}, \tilde{g})$ . Мы хотим проводить разложение при помощи свертки с  $(\tilde{h}, \tilde{g}^*)$ , а восстановление — при помощи  $(h, g)$  (в ортогональном случае  $h = \tilde{h}$ ,  $g = \tilde{g}$ ). В терминах  $z$ -преобразования разложение на высокие и низкие частоты с прореживанием вдвое имеет вид, описанный формулой (3):

$$X(z) \rightarrow [(\tilde{H}(z^{-1})X(z) + \tilde{H}(-z^{-1})X(-z))/2, (\tilde{G}(z^{-1})X(z) + \tilde{G}(-z^{-1})X(-z))/2] \quad (3)$$

Записав в аналогичном виде процесс восстановления с помощью пары  $(h, g)$ , и приравняв результат к  $X(z)$ , получаем выражения (4) описанные ниже:

$$H(z)\tilde{H}(z^{-1}) + G(z)\tilde{G}(z^{-1}) = 2. \quad (4)$$

$$H(z)\tilde{H}(-z^{-1}) + G(z)\tilde{G}(-z^{-1}) = 0$$

Метод лифтинга позволяет: 1) Строить новые фильтры, удовлетворяющие выражениям (4), из уже имеющихся; 2) Выполнять Вейвлет — преобразование быстрее за счет декомпозиции на элементарные шаги лифтинга [2].

Следует отметить, что для поиска сигнала и оценки его наличия, требуется не весь набор фильтров и отчетов (ФВВ, ФВН, ФНВ, ФНН), а только та часть, в которой обнаружен сигнал, для передачи его в коррелятор. Алгоритмически, для внедрения в уже существующий алгоритм быстрого поиска, представленный на рисунке 1, требуется заменить блок анализа сигнала, основанного на быстром преобразовании Фурье, на блок, в основе которого лежит Вейвлет анализ принимаемой информации.

### Список литературы:

1. Быстрое преобразование Фурье [Электронный ресурс]// Википедия. Свободная энциклопедия: [сайт]. [2012]. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Быстрое\\_преобразование\\_Фурье](http://ru.wikipedia.org/wiki/Быстрое_преобразование_Фурье) (дата обращения: 10.01.2012).
2. Воробьев В. И., Грибунин В. Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.: ВУС, 1999. 204 с.
3. Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления сверток. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1985. 248 с.

## СЕКЦИЯ 5.

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОЧЕЙ НАГРУЗКИ ПЛАНИРОВОЩИКА ЗАДАЧ ПУТЕМ ВЫЯВЛЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

*Гриценко Андрей Владимирович*

*аспирант, Ставропольский ГУ, г. Ставрополь*

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

### 1. Введение

Широкое использование распределенных вычислительных систем повлекло за собой сначала разработку различных алгоритмов планирования работ и распределения ресурсов, а потом и появление огромного количества ПО, использующего эти алгоритмы. Сейчас рынок DRMS (distributed resource management system) представлен как разработками таких широко известных компаний как Adaptive Computing (Moab и Maui) и Oracle (Oracle Grid Engine), так и продукцией более мелких компаний [2]. Несмотря на все внешние различия этих программных продуктов, между ними есть одно сходство — при построении расписания алгоритмы этих продуктов учитывают только те работы, которые на данный момент были добавлены в очередь. В работе [1] дается обоснование точки зрения, согласно которой использование при составлении расписания данных только о текущих работах может являться недостатком. В частности в этой работе указывается, что бывают случаи, когда одна и та же задача может запускаться с определенной периодичностью, и выдвигается предположение, что возможность использования методов прогнозирования в алгоритмах составления расписания в таких случаях могло бы значительно повысить общую эффективность DRMS.

### 2. Статистический анализ XLSTAT

Одной из причин, почему методы прогнозирования до сих пор не использовались в планировщиках задач, является распространенное мнение, что процесс назначения работ является абсолютно случайным

и из-за большого количества пользователей принимающих участие в этом процессе по своим свойствам напоминает белый шум.

Для проверки этого предположения использовался программный продукт XLSTAT, надстройка для Microsoft Office Excel, предоставляющая широкий набор функций для статистического анализа временных рядов [4, 5]. В качестве исходных данных был использован временной ряд, который был получен при анализе данных работы вычислительного кластера Ставропольского государственного университета, и в котором были выявлены продолжительные циклы. Параметрами этого ряда являются дата и время назначения задачи, количество требуемых процессоров и предполагаемое время выполнения задачи.

Прежде всего, из начального временного ряда было выделено два одномерных ряда: ряд, значениями которого является количество запрашиваемых работами процессоров (Procs), и ряд содержащий продолжительность выполнения задачи в часах (Time).

Далее оба этих одномерных ряда были подвергнуты ряду тестов, выполняемых встроенными функциями XLSTAT: Descriptive analysis (описательный анализ) [4] и Normality Tests (Нормальные тесты) [5].

**Таблица 1.**

**Результат применения функции XLSTAT Descriptive analysis к временным рядам Procs и Time**

Статистика	Задержка	Value		p-value	
		Procs	Time	Procs	Time
Jarque-Bera	2	345.320	377.898	<0,0001	<0,0001
Box-Pierce	6	17.443	22.235	0.008	0.001
Ljung-Box	6	17.469	22.256	0.008	0.001
McLeod-Li	6	30.015	19.065	<0,0001	0.004
Box-Pierce	12	44.827	44.891	<0,0001	<0,0001
Ljung-Box	12	44.931	44.978	<0,0001	<0,0001
McLeod-Li	12	71.131	34.034	<0,0001	0.001

Функция Descriptive analysis использует тесты Харки-Бера (Jarque-Bera), Бокса-Пирса (Box-Pierce), Льюнга-Бокса (Ljung-Box) и МакЛеода-Ли (McLeod-Li), строит гистограммы частот и автокоррелограммы.

Тест Харки-Бера, использующийся и функцией Normality Tests, основан на сравнении коэффициентов асимметрии и эксцесса и вычисляет возможность принятия или отклонения нулевой гипотезы, которая утверждает, что данные распределены нормально. В справке XLSTAT

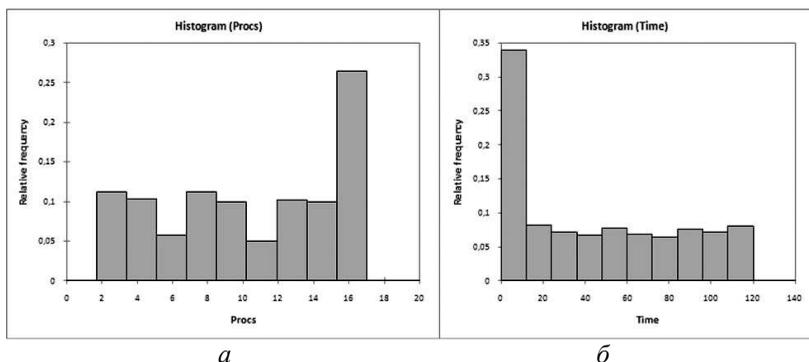
указывается, что чем больше значение статистики, тем менее вероятна нулевая гипотеза, и следовательно, она должна быть отвергнута.

Три остальных теста (Бокса-Пирса, Льюнга-Бокса и МакЛеода-Ли) проверяют случайность данных (т. е. нулевая гипотеза утверждает, что данные принадлежат к белому шуму) и вычисляются для различных временных задержек. Все эти тесты используют распределение Хи-квадрат. Значение p-value для всех тестов соответствует вероятности ошибки при отвержении нулевой гипотезы или принятии, если она верна [4].

В таблице 1 записаны результаты применения тестов Харки-Бера, Бокса-Пирса, Льюнга-Бокса и МакЛеода-Ли к временным рядам. Согласно этим результатам наиболее вероятно что оба временных ряда представляют собой белый шум.

В рамках функции Normality Tests к данным применяются нормальные тесты: Шапиро-Вилка (Shapiro-Wilk), Андерсона-Дарлинга (Anderson-Darling) and тест Лиллиефорса (Lilliefors), результаты которых тоже заставляют отклонить нулевую гипотезу и принять альтернативную.

Наглядно ложность нулевой гипотезы о нормальности распределения значений во временных рядах Procs и Time можно увидеть на гистограммах частот (рис. 1).

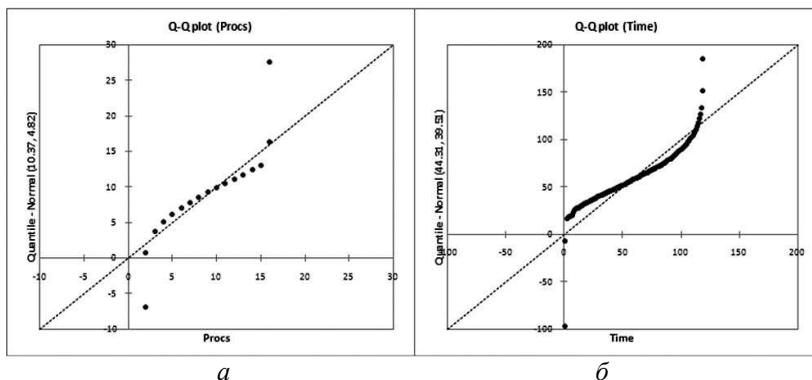


**Рис.1. Гистограммы частот распределения значений временных рядов Procs (а) и Time(б)**

Как можно заметить, значения во всех промежутках распределены примерно равномерно кроме двух выступающих столбцов. Далее будет показано, что именно эти столбцы содержат циклические значения.

Помимо проведения тестов функция Normality Tests позволяет получить Q-Q график, который сравнивает интегральную функцию

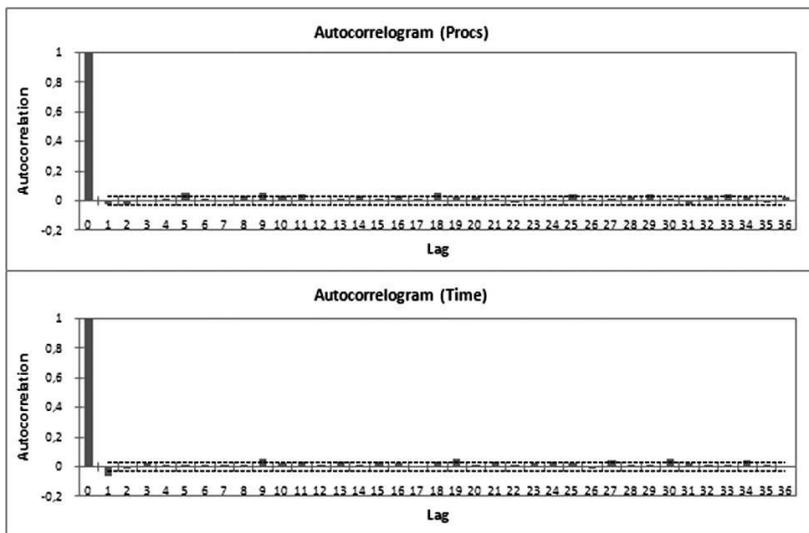
распределения исследуемого временного ряда с интегральной функцией нормального распределения, имеющего ту же медиану и стандартное отклонение. В случае если входной временной ряд подчиняется нормальному распределению, график будет выровнен относительно первой биссектрисы [5].



**Рис.2. Q-Q графики, построенные для временных рядов Procs (а) и Time(б)**

На рисунке 2 изображены Q-Q графики для обоих временных рядов, из которых следует, что временные ряды не подчиняются нормальному закону, причем наибольшее отклонение от биссектрисы достигается, как и в случае с гистограммами, для значений, входящих в циклы.

Как результат всего вышеперечисленного, нулевая гипотеза, утверждающая, что данные распределены нормально, должна быть отвергнута. Вместе с тем, альтернативная гипотеза, что данные представляют собой белый шум, также должна быть отклонена на основании того, что достоверно известно о наличии в исходном ряде повторяющихся задач, несмотря на то, что автокоррелограммы не выявляют никаких периодических структур (рис. 3). Этот феномен может быть объяснен тем фактом, что циклические последовательности скрыты шумом остальных задач вследствие случайного количества заданий, поступающих каждый день.



*Рис. 3. Автокоррелограммы временных рядов Procs (а) и Time (б)*

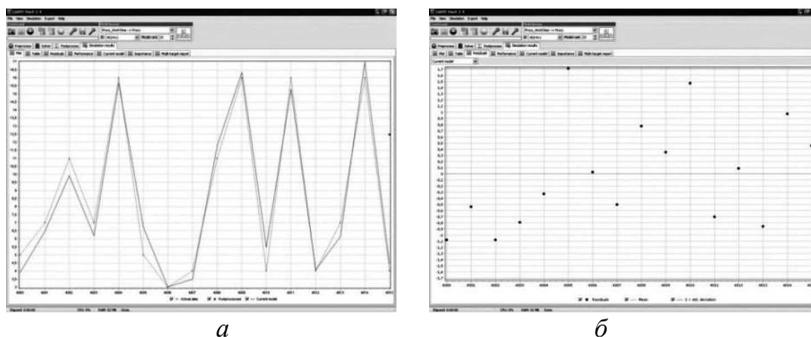
### 3. Моделирование случайного процесса GMDH Shell

Несмотря на то, что статистический анализ выявил сходство исследуемого процесса назначения заданий с белым шумом, была предпринята попытка спрогнозировать поведение этого процесса с помощью специального программного обеспечения, т. к. первоначальное применение стандартных методов, например, ARIMA, не дало ожидаемого результата — погрешность метода зачастую превышала максимальное значение выборки в несколько раз.

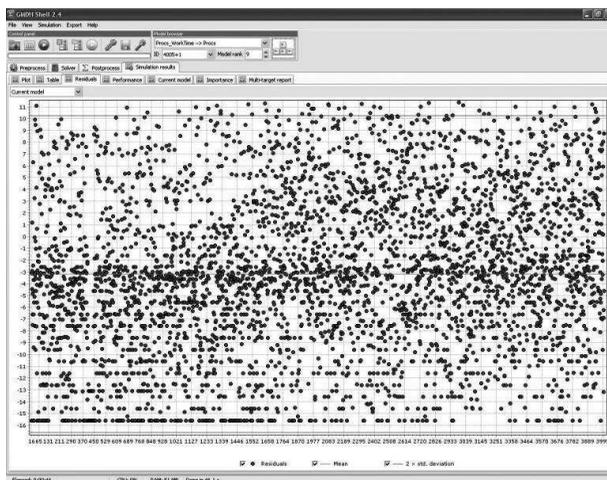
В качестве используемого программного обеспечения был выбран пакет GMDH Shell, разработанный компанией Geos Research Group и использующий метод групповой обработки данных (group method of data handling) для решения разнообразных задач, таких как регрессионный анализ, классификация и прогнозирование временных рядов [3]. Отличительной особенностью GMDH Shell является то, что он позволяет задавать в качестве входных данных временные ряды любой размерности; в данном случае исходный временной ряд был использован без изменений: дата поступления задания в очередь, количество запрашиваемых процессоров и продолжительность выполнения задания; прогнозируемым значением было выбрано количество запрашиваемых процессоров.

Несмотря на наличие мощного математического аппарата, результат использования данного программного продукта для модели-

рования процесса назначения работ достаточно неоднозначен: при использовании выборок сравнительно небольшого размера GMDH Shell позволяет получать модели с погрешностью, не превышающей 10 % от максимального значения (рис. 4), однако, эти модели не способны учитывать циклические составляющие, т.к. их период может быть сопоставим с размером выборки. Таким образом, возникает необходимость в увеличении размера входных данных, но одновременно с их увеличением растет и погрешность, и для обучающей выборки порядка 4000 элементов может достигать 100 % (рис. 5), тем самым делая невозможным использование данного продукта в полной мере.

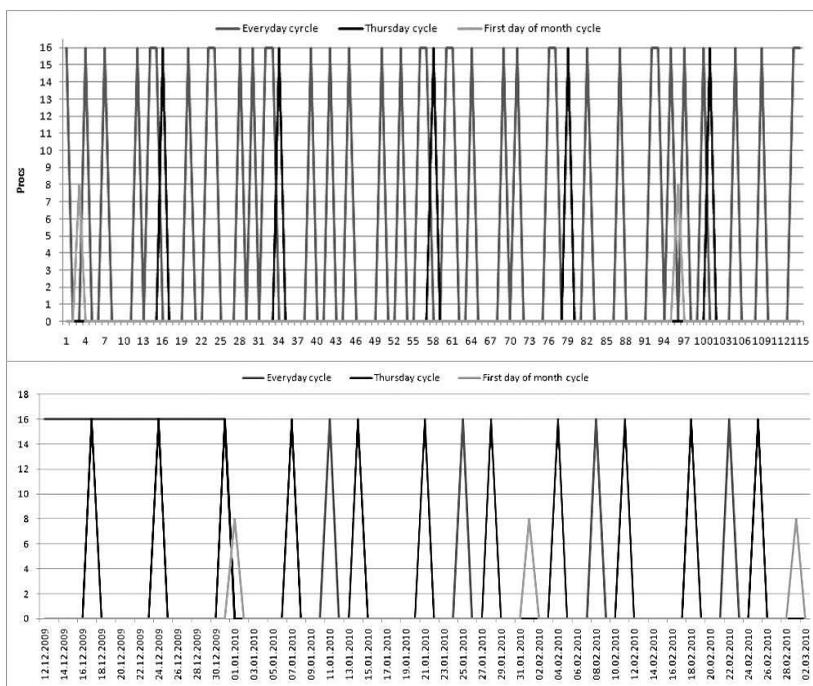


**Рис.4. Модель (а) и погрешности (б) для выборки из 100 элементов. Показаны последние 15 элементов**



**Рис. 5. Погрешность модели для выборки из 4000 элементов**

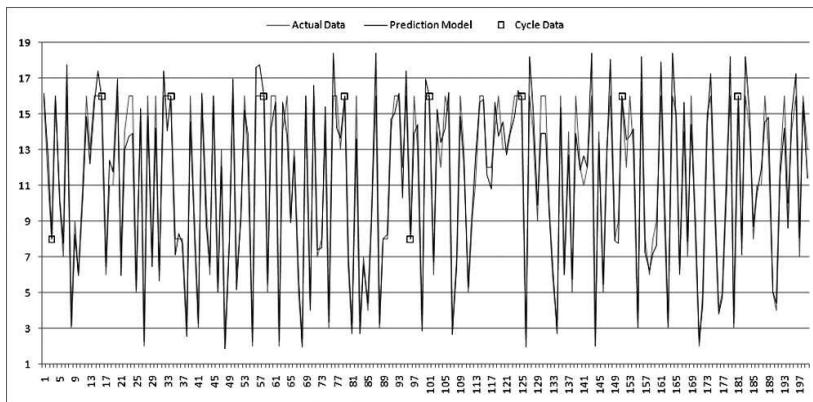
Как уже говорилось ранее, такое поведение можно объяснить слишком большим количеством «шума» — данных, которые снижают влияние циклов на общую выборку. Тем не менее, учитывая, что ни один из подходов не дал требуемого результата, и, основываясь на том, что мы наверняка знаем о наличии периодических компонентов в исходном временном ряду, было предложено явно выявить все существующие периодики. Применение такого подхода помогло обнаружить 3 продолжительных цикла: задачи, ставившиеся в очередь в первый день каждого месяца, задачи в течение ограниченного времени запускавшиеся каждый четверг и задачи, чья периодичность сначала составляла одни сутки, а потом увеличилась до двух недель (рис. 6).



**Рис. 6. Периодические компоненты, обнаруженные в процесс назначения работ (а) и в разрезе одного дня (б)**

Теперь, обладая точными знаниями о существующих циклах, а также используя одну из моделей, сгенерированных GMDH Shell для небольшой выборки, удалось построить прогнозную модель с низкой

погрешностью и одновременно с этим учитывающую циклические составляющие всего временного ряда (рис. 7). Для большей достоверности в этой модели был использован специальный коэффициент надежности, определяющий вероятность того, что в следующий временной шаг определенный цикл все еще будет существовать и зависящий от средней продолжительности остальных циклов.



*Рис. 7. Прогнозная модель, использующая данные о циклах*

#### **4. Заключение**

Несмотря на получение достаточно точной модели процесса добавления заданий в очередь, очевидно, что данный подход должен использоваться только как дополнение к традиционным методам распределения ресурсов и планирования заданий, но не как самостоятельный алгоритм для систем управления распределенными ресурсами.

Более того, предстоит еще провести ряд дополнительных исследований, во-первых, с целью выявления наиболее подходящего метода расчета коэффициента надежности, а также чтобы обеспечить возможность обучения модели и изменения параметров в зависимости от входных данных.

#### **Список литературы:**

1. Гриценко Ан. В., Шульгин А. О. Исследование проблемы использования методов прогнозирования в алгоритмах управления заданиями и распределения ресурсов кластерных вычислительных систем. // В мире научных открытий. Выпуск № 8(20). Серия «Математика. Механика. Информатика». Красноярск: Издательство «Научно-инновационный центр», 2011. — С. 43—55

2. Интернет портал Grid технологий. Кластерные системы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gridclub.ru/software/cluster.html> (дата обращения 28.01.2012).
3. GMDH Shell. Product Overview. Concepts [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gmdhshell.com/docs/concepts> (дата обращения 10.03.2012).
4. Statistics package for Excel — XLSTAT. Description and transformation of a time series with XLSTAT-Time [Электронный ресурс]. URL: <http://www.xlstat.com/en/learning-center/tutorials/using-differencing-to-obtain-a-stationary-time-series.html> (дата обращения 20.02.2012).
5. Statistics package for Excel — XLSTAT. Sampling and Normality test. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.xlstat.com/en/learning-center/tutorials/sampling-data-in-a-distribution-and-running-a-normality-test-with-xlstat.html> (дата обращения 20.02.2012).

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ ПРИЛОЖЕНИЯМИ MATLAB — DELPHI**

***Емельянов Валентин Юрьевич***

*канд. техн. наук, профессор БГТУ «Военмех» им. Д. Ф. Устинова,  
г. Санкт-Петербург*

***Шишкин Андрей Леонидович***

*студент, БГТУ «Военмех» им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург  
E-mail: [ferse2002@mail.ru](mailto:ferse2002@mail.ru)*

При создании программного обеспечения иногда приходится применять несколько сред разработки приложений. Это связано с тем, что каждая среда как средство разработки имеет свои преимущества и недостатки из-за специализации на решение определенного круга задач. Например, пакет прикладных программ Matlab используется для разработки приложений, теоретической основой которых являются сложные математические вычисления, а его надстройка Simulink — для имитационного моделирования процессов в динамических системах [5, с. 8]. Но существует ряд задач, для решения которых пакет Matlab/Simulink не подходит, хотя решить задачи вполне возможно. К числу таких задач можно отнести спектр задач по визуализации работы объектов и процессов, создание интерфейса для приложений и др. Они весьма эффективно решаются в среде разработки программного обеспечения Delphi.

При использовании двух сред разработки приложений создавать программное обеспечение можно несколькими способами. Во-первых, путем создания DLL (Dynamic Load Library) в Matlab [3] и её использовании при создании приложения в Delphi. Другой способ состоит в том, чтобы создать два приложения, обменивающиеся данными. Первый способ имеет множество ограничений, например, на вывод графиков. Второй способ требует организации передачи данных между приложениями.

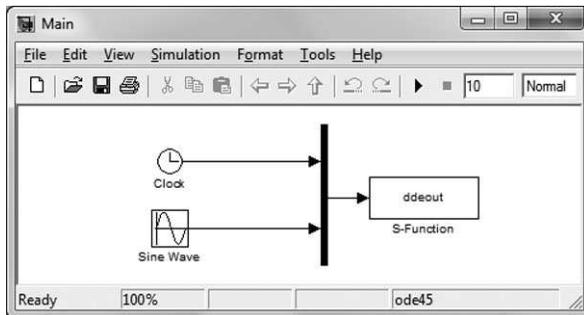
Существует несколько способов организации обмена данных между приложениями. К ним можно отнести динамический обмен данными (DDE), использование COM-объектов, передача данных с помощью сокетов (sockets) и сообщений. Ниже приведено описание первых двух способов.

#### *Динамический обмен данными (DDE)*

Использование технологии DDE (Dynamic Data Exchange) позволяет передавать данные от одного приложения к другому через глобальную память. При организации обмена данными одно приложение называется DDE-сервером, а другое DDE-клиентом. Какое приложение является сервером, а какое — клиентом, большого значения не имеет, хотя обычно сервер является более сложной программой, чем клиент.

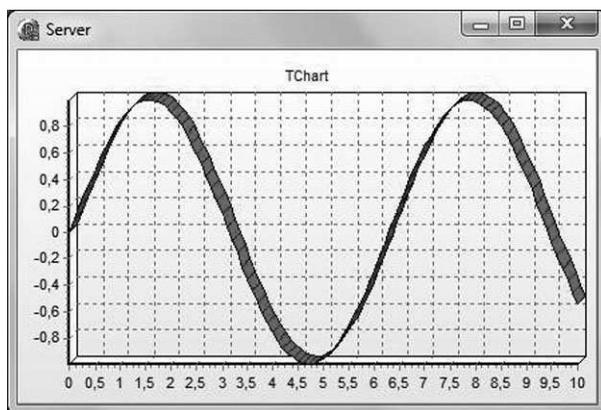
Приведем простой пример передачи данных от приложения, созданного в среде Simulink, к приложению, созданному в среде Delphi. При запуске приложения-клиента, разработанного в Simulink (рис. 1), приложение-сервер, разработанное в Delphi (рис. 2), выводит на экран данные, полученные от первого приложения, а именно, значения модельного времени и зависимости (1):

$$y = \sin(t) \quad (1)$$



**Рис. 1. Модель, созданная в среде Simulink**

В приложении-клиенте, разработанном в среде Simulink, за передачу данных отвечает блок (S-функция) ddeout. Перед началом моделирования блок ddeout запускает приложение-сервер. Затем блок инициализирует канал связи между приложением-клиентом и приложением-сервером. Это происходит с помощью функции ddeinit [6]. Если канал не был инициализирован, или соединение было разорвано во время работы приложений, то выводится сообщение об ошибке. Во время моделирования каждые 0.1 секунду модельного времени блок передает данные с помощью процедуры dderoke [6]. Частота передачи данных может регулироваться пользователем.



**Рис. 2. Приложение, разработанное в Delphi**

Приложение-сервер содержит два компонента, необходимые для получения данных: DDEServerConv и DDEServerItem. Эти компоненты организуют работу сервера DDE [4, с. 461]. При получении данных приложение-сервер должно обработать и вывести данные на экран. Перед приемом данных происходит событие OnPokeData компонента DDEServerItem. Во время этого события должны быть произведены действия, необходимые для обработки принятых данных [1, с. 469]. При приеме сами данные являются выходным параметром свойства Text компонента DDEServerItem.

Стоит заметить, что данные передаются только строкового типа (string), то есть как текст. Поэтому данные других типов: логических, числовых, необходимо приводить к строковому типу.

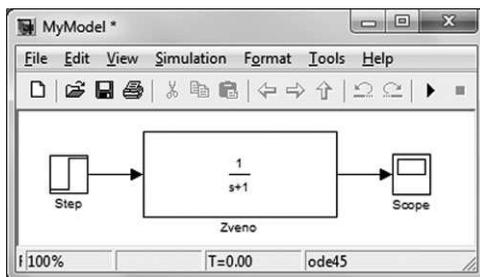
Недостатком данной технологии является невозможность передавать данные от одного приложения к другому в случае, если они расположены на разных компьютерах, объединенных в сеть. Стоит отметить,

что в современных операционных системах механизм DDE замещается на более мощные механизмы передачи данных, например, на COM-объекты.

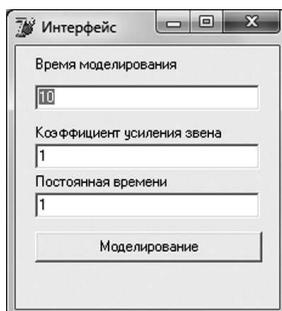
#### *Использование COM-объектов*

Другой способ передачи данных основан на технологическом стандарте COM (Component Object Model) и базирующейся на этом стандарте технологии OLE Automation. Технология OLE Automation разработана для поддержки интерпретирующих языков Она позволяет передавать данные от одного приложения к другому и возвращать результат работы обратно. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Развитием технологии OLE является технология ActiveX.

Разберем пример программы, разработанной в среде Delphi, которая управляет приложением, разработанным в среде Simulink. На рис. 3 представлена простая модель (апериодическое звено первого порядка с входным сигналом в форме ступенчатой функции), созданная в среде Simulink, а на рис. 4 представлено окно настройки приложения, созданного в среде Delphi. С помощью приложения, разработанного в Delphi, можно изменять время моделирования, коэффициент усиления и постоянную времени апериодического звена первого порядка (на рис. 3 блок “Zveno”).



**Рис. 3. Модель в среде Simulink**



**Рис. 4. Приложение, разработанное в Delphi**

Обработчик события, возникающего при нажатии кнопки «Моделирование» запрограммирован следующим образом:

```
procedure TMainForm.ExecuteButtonClick(Sender: TObject);
var
  path:string;
  V:variant;
begin
  V:=CreateOleObject('Matlab.Application');
  //Запуск сервера автоматизации
  path:='cd '+quotedstr(GetCurrentDir); //Установка рабочей директории
  V.Execute(path);
  V.Execute('open_system('+quotedstr('MyModel')+')');
  //Открытие модели
  V.Execute('set_param('+quotedstr('MyModel/Zveno')+','+quotedstr('Numerator')+','+quotedstr('KEdit.text')+')');
  //Изменение параметров модели
  V.Execute('sim('+quotedstr('MyModel')+')')
  //Запуск модели
end;
```

В данном фрагменте кода используется объект класса Variant. Данный класс необычен тем, что не обладает ни методом Execute, ни каким-либо другими, свойственными только ему, методами. Компилятор среды Delphi запоминает обращения к серверу автоматизации (в этом случае Matlab) и проводит синтаксический анализ метода [2, с. 71]. Сервер автоматизации — это такой компонент приложения, который регистрируется системной реестре операционной системы и может быть использован другими приложениями.

Функция CreateOleObject инициализирует сервер автоматизации среды Matlab. Стоит отметить, что эта функция находится в модуле ComObj среды разработки Delphi. Метод Execute на самом деле является командой сервера автоматизации среды Matlab. Единственным параметром является переменная строкового типа, в которой записаны команды среды Matlab. С помощью командного режима [5, с. 324] управления моделью в среде Simulink её можно редактировать: открывать, сохранять изменения, изменять параметры, запускать процесс моделирования, получая результаты.

Такой способ позволяет организовывать передачу данных между приложениями, установленными на разных компьютерах. Это позволяет разрабатывать распределенные приложения [4].

Стоит отметить, что вышеописанные способы передачи данных между двумя приложениями работают только в операционных системах семейства Windows.

Предлагаемые способы организации управления моделями и визуализации результатов моделирования описаны для среды разработки ПО Delphi, но они осуществимы в других средах, таких как Borland C++ Builder или Microsoft Visual Studio.

### **Список литературы:**

1. Архангельский А. Программирование в Delphi 7. — М.: ООО «Бином-Пресс», 2003. — 1152 с.
2. Елманова Н., Трепалин С., Тенцер А. Delphi и технология COM. — СПб «Питер» — 2003. — 698 с.
3. Карапетян В. А., Разработка DDL-библиотек в Matlab и использование их в приложениях Delphi: Методические указания. — Севастополь: Издательство «СевНТУ» — 2010. — 32 с.
4. Коровкин М. В., Погожев С. В., Вопросы построения сетевых комплексов в Matlab/Simulink // Труды II научной конференции «Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB» — 2004 — С. 1524—1533.
5. Черных И. В. Simulink. Среда создания инженерных приложений — М: ДИАЛОГ-МИФИ, 2004. — 496 с.
6. Matlab 7.8.0.347: Product Help. The MathWork, Inc, 1984-2009

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОРОДНОСТИ ИСКАЖЕНИЙ ЧАСТОТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДКП МАТРИЦЫ, ВНОСИМЫХ JPEG-СЖАТИЕМ И МЕДИАННОЙ ФИЛЬТРАЦИЕЙ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*Коваленко Михаил Павлович*

*аспирант, инженер-программист, МОУ «ИИФ», г. Серпухов*

*E-mail: [misha\\_kovalenko@mail.ru](mailto:misha_kovalenko@mail.ru)*

### **Введение**

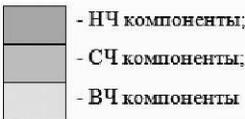
Стеганографические алгоритмы, производящие встраивание скрываемой информации в частотную область изображений, получили широкое распространение в силу некоторых выгодных отличий от остальных стеганографических алгоритмов. К сильным сторонам

данного вида алгоритмов, прежде всего, следует отнести возможность встраивать информацию в изображения-контейнеры, сжатые форматом JPEG, который является одним из наиболее распространенных форматов хранения и передачи мультимедиа-контента на сегодняшний день. Также к преимуществам данного вида алгоритмов можно отнести и достаточно хорошую устойчивость к различного рода внешним воздействиям или атакам на изображение-контейнер.

### Частотные свойства матрицы ДКП коэффициентов

В основе большинства стеганографических алгоритмов частотной области лежит дискретно-косинусное преобразование (ДКП). Такие алгоритмы предварительно разбивают исходное изображение-контейнер на блоки, как правило, размером 8×8 пикселей, в дальнейшем подвергающиеся ДКП, результатом которого является матрица коэффициентов, представленная на рисунке 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1603	203	11	45	-30	-14	-14	-7
2	108	-93	10	49	27	6	8	2
3	-42	-20	-6	16	17	9	3	2
4	56	69	7	-25	-10	-5	-2	-2
5	-33	-21	17	8	3	-4	-5	-3
6	-16	-14	8	2	-4	-2	1	1
7	0	-5	-6	-1	2	3	0	1
8	9	5	-6	-9	0	3	3	1



- НЧ компоненты;  
- СЧ компоненты;  
- ВЧ компоненты

Рисунок 1 Матрица ДКП коэффициентов

$$B_{pq} = \alpha_p \cdot \alpha_q \cdot \sum_{m=0}^7 \sum_{n=0}^7 A_{mn} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot (2 \cdot m + 1) \cdot p}{16}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot (2 \cdot n + 1) \cdot q}{16}\right), \quad (1)$$

$$\alpha_p = \begin{cases} \frac{1}{2\sqrt{2}}, & \text{при } p = 0 \\ \frac{1}{2}, & \text{при } 1 \leq p \leq 7 \end{cases} \quad \text{и} \quad \alpha_q = \begin{cases} \frac{1}{2\sqrt{2}}, & \text{при } q = 0 \\ \frac{1}{2}, & \text{при } 1 \leq q \leq 7 \end{cases}, \quad (2-3)$$

где:  $0 \leq p \leq 7$ ;  $0 \leq q \leq 7$ ;  $A$  — матрица, подвергаемая ДКП;  $B$  — матрица ДКП коэффициентов.

В ДКП матрице, вычисляемой для блоков размером 8×8 пикселей по формулам 1—3, коэффициенты низкочастотных компонент располагаются ближе к верхнему левому углу, в то время как коэффициенты

высокочастотных компонент сгруппированы в правой нижней части матрицы. Низкочастотные коэффициенты содержат преобладающую часть энергии изображения, в то время как высокочастотные компоненты наиболее уязвимы для внешних воздействий [3]. Поэтому авторы большинства алгоритмов считают пригодными для встраивания только среднечастотные коэффициенты. При этом не малую роль играет учет статистических свойств их искажений, вносимых такими преобразованиями цифровых изображений, как, например, Jpeg-сжатие или медианная фильтрация. Исследованию одного из таких свойств, а именно однородности искажений, и посвящена данная работа.

### **Анализ однородности искажений частотных коэффициентов ДКП матрицы, вносимых Jpeg-сжатием и медианной фильтрацией цифровых изображений**

Одним из критериев для проверки однородности двух выборок  $X_1, X_2, \dots, X_m$  и  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  из  $m$  и  $n$  числовых результатов наблюдений является критерий U-Манна-Уитни [1]. Статистика U Манна-Уитни определяется как число пар  $(X_i, Y_j)$  таких, что  $X_i < Y_j$ , среди всех  $m \times n$  пар, и вычисляется по следующей формуле [4]:

$$U = \sum_{i,j} \varphi(x_i, y_j), \quad (4)$$

$$\varphi(x_i, y_j) = \begin{cases} 1.0, & \text{при } x_i < y_j \\ 0.5, & \text{при } x_i = y_j \\ 0.0, & \text{при } x_i > y_j \end{cases} \quad (5)$$

Ясно, что  $U$  может принимать значения от 0 до  $m \times n$ .

Если объемы выборок больше 20, то распределение  $U$  статистики быстро сходится к нормальному [5], имеющему следующие математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение [2]:

$$m_U = \frac{m \cdot n}{2}, \quad \sigma_U = \sqrt{\frac{m \cdot n \cdot (m + n + 1)}{12}}. \quad (6)$$

В случае же, когда объемы обоих выборок совпадают, будем иметь:

$$m_U = \frac{n^2}{2}, \quad \sigma_U = n \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot n + 1}{12}} \approx \sqrt{\frac{n^3}{6}}. \quad (7)$$

Проверим однородность искажений частотных коэффициентов ДКП матрицы, вносимых в цифровые изображения JPEG-сжатием с потерями, выполненным при помощи пакета программ StirMark

Benchmark 4.0.129 (JPEG Quality level=90). Используемые для этого изображения представлены на рисунке 2.



***Рисунок 2 — Участвующие в проверке однородности искажений частотных коэффициентов ДКП матрицы изображения***

При этом  $n = 61968$ ,  $m_U = 1920016512$ ,  $\sigma_U \approx 6297608$ . Тогда на уровне значимости  $\alpha = 0.05$  значение статистики  $U$  должно быть в диапазоне от 1 919 621 609 до 1 920 411 415.

В ходе вычислений, результаты которых представлены в таблице 1, было установлено, что статистически одинаково вели себя коэффициенты 23 и 31, 24 и 35, 25 и 29, 29 и 42, 30 и 31.

Таблица 1

## Полученные при JPEG-сжатии значения статистики U

i	j	U <sub>ij</sub>	i	j	U <sub>ij</sub>	i	j	U <sub>ij</sub>
21	22	1901752724	22	29	1926376115	23	37	1916088062
21	23	1905006601	22	30	1925274158	23	38	1915288595
21	24	1904665335	22	31	1924722840	23	39	1918951138
21	25	1906306079	22	32	1930608554	23	40	1918981641
21	26	1898968741	22	33	1919217841	23	41	1918783311
21	27	1899076811	22	34	1916959667	23	42	1921479082
21	28	1911020926	22	35	1922437473	24	25	1923571392
21	29	1906503183	22	36	1927685687	24	26	1914898573
21	30	1905101107	22	37	1921166482	24	27	1915882425
21	31	1905336728	22	38	1920459484	24	28	1927833686
21	32	1911575226	22	39	1923908472	24	29	1924165555
21	33	1899648263	22	40	1923962432	24	30	1922879101
21	34	1896958400	22	41	1923682724	24	31	1922629961
21	35	1902428194	22	42	1926635300	24	32	1927499351
21	36	1906972862	23	24	1917627516	24	33	1917903967
21	37	1900403386	23	25	1921609983	24	34	1914925981
21	38	1899040797	23	26	1912458470	24	35	1920278187
21	39	1903331607	23	27	1913889038	24	36	1924836378
21	40	1903509574	23	28	1925864408	24	37	1918639094
21	41	1903165075	23	29	1921785082	24	38	1918349514
21	42	1904962876	23	30	1920432558	24	39	1921369166
22	23	1924459483	23	31	1920146214	24	40	1921497114
22	24	1921208095	23	32	1926201269	24	41	1921863966
22	25	1926061380	23	33	1914720762	24	42	1924269350
22	26	1916076809	23	34	1912017665	25	26	1910966538
22	27	1917990916	23	35	1917601356	25	27	1911903739
22	28	1930353330	23	36	1922855655	25	28	1924138407
25	29	1919855491	26	41	1927853583	28	40	1912853146
25	30	1918510268	26	42	1930587324	28	41	1911821274
25	31	1918347056	27	28	1933627352	28	42	1914800343
25	32	1924663763	27	29	1928642726	29	30	1918951301
25	33	1912642884	27	30	1927545887	29	31	1918476803
25	34	1909885125	27	31	1926912160	29	32	1925651206
25	35	1915590626	27	32	1933443157	29	33	1912323846
25	36	1920874628	27	33	1921289082	29	34	1910113499
25	37	1913998524	27	34	1918801003	29	35	1915860490
25	38	1913076640	27	35	1925285534	29	36	1921530188
25	39	1917068752	27	36	1930018750	29	37	1914446760
25	40	1916906226	27	37	1923291192	29	38	1913562648
25	41	1916632927	27	38	1922411110	29	39	1917361534
25	42	1919272136	27	39	1925462622	29	40	1917555459

i	j	U <sub>ij</sub>	i	j	U <sub>ij</sub>	i	j	U <sub>ij</sub>
26	27	1921337791	27	40	1926034960	29	41	1916750371
26	28	1933966392	27	41	1925799148	29	42	1919950996
26	29	1930069440	27	42	1928768486	30	31	1919633692
26	30	1928728429	28	29	1915423948	30	32	1926639945
26	31	1928196786	28	30	1914323477	30	33	1913378146
26	32	1933415667	28	31	1914189830	30	34	1911017520
26	33	1923603227	28	32	1921328431	30	35	1916755685
26	34	1920589588	28	33	1907746736	30	36	1922549030
26	35	1926370726	28	34	1905418200	30	37	1915341429
26	36	1930985430	28	35	1910902841	30	38	1914363281
26	37	1924735851	28	36	1916751387	30	39	1918424625
26	38	1924583373	28	37	1909385548	30	40	1918501300
26	39	1927198581	28	38	1908471508	30	41	1917729925
26	40	1927452381	28	39	1913346133	30	42	1920759654
31	32	1926547960	33	35	1923824388	35	42	1924201037
31	33	1914137882	33	36	1929287309	36	37	1912725187
31	34	1911732437	33	37	1922387811	36	38	1911669818
31	35	1917313818	33	38	1921680890	36	39	1915928969
31	36	1922891122	33	39	1925152675	36	40	1915932312
31	37	1915963359	33	40	1925317192	36	41	1915043176
31	38	1915054409	33	41	1924838573	36	42	1918040311
31	39	1918830630	33	42	1928137355	37	38	1919093014
31	40	1918975903	34	35	1926054265	37	39	1922925259
31	41	1918438077	34	36	1931729343	37	40	1922980068
31	42	1921353342	34	37	1924747247	37	41	1922229836
32	33	1907264857	34	38	1923858790	37	42	1925617794
32	34	1904748696	34	39	1927332609	38	39	1923924962
32	35	1909872480	34	40	1927584271	38	40	1924032335
32	36	1915574176	34	41	1926941928	38	41	1923105244
32	37	1908375450	34	42	1930312134	38	42	1926597706
32	38	1907431669	35	36	1925970717	39	40	1920150528
32	39	1911732611	35	37	1918478687	39	41	1919300420
32	40	1911842472	35	38	1917697660	39	42	1922437350
32	41	1910921064	35	39	1922175160	40	41	1919269234
32	42	1913576648	35	40	1921751150	40	42	1922391196
33	34	1917837557	35	41	1920759050	41	42	1923445286

Итак, только для 5 из 162 пар частотных коэффициентов были получены значения статистики  $U$ , которые могут свидетельствовать о статистической схожести поведения. Проверим однородность их искажений, вносимых медианной фильтрацией, выполненной при помощи пакета программ StirMark Benchmark 4.0.129 (размер окна фильтра равен 1).

**Таблица 2**

**Полученные при медианной фильтрации значения статистики U**

I	j	U <sub>ij</sub>	i	J	U <sub>ij</sub>	i	j	U <sub>ij</sub>
23	31	461245102	25	29	1915697033	30	31	1918118644
24	35	3407282604	29	42	457820809	—	—	—

В ходе указанной проверки, результаты которой представлены в таблице 2, было установлено, что частотные коэффициенты подвержены статистически не однородным искажениям.

**Выводы**

Частотные коэффициенты ДКП матрицы на уровне значимости  $\alpha = 0.05$  подвержены статистически не однородным искажениям.

**Список литературы:**

1. Борисова Е. В. Формирование и математическая обработка данных в социологии: Учебное пособие. 1-е изд. — Тверь: ТГТУ, 2006. — 120 с.
2. Гайдышев И. Анализ и обработка данных: специальный справочник. — СПб: Питер, 2001. — 752 с.
3. Конахович Г. Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография: Теория и практика. — М.: МК-Пресс, 2006. — 283 с.
4. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. — Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. — 463 с.
5. Электронный учебник StatSoft: U критерий Манна-Уитни [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: — [www.statsoft.ru/home/portal/applications/medicine/manna\\_uitni.htm](http://www.statsoft.ru/home/portal/applications/medicine/manna_uitni.htm)

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОПТИМИЗАЦИИ ТОРГОВЫХ СИСТЕМ

*Лукашев Александр Владимирович*

*аспирант, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург*

*E-mail: [lukashev.alexander@gmail.com](mailto:lukashev.alexander@gmail.com)*

При разработке торговой системы возникает необходимость добиться от нее максимальной эффективности в условиях реальной торговли. Способ достижения цели — отладка и оптимизация системы на наборе исторических данных. В различных источниках указывают различные критерии оценки эффективности, среди которых, на мой взгляд, важнейшими являются оценки:

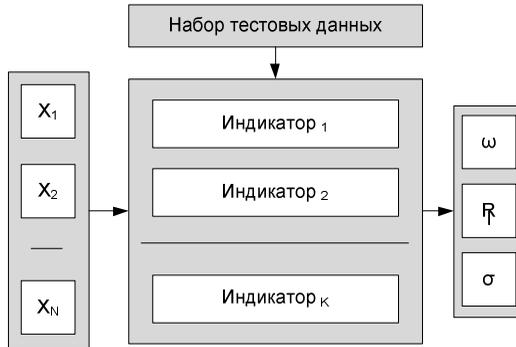
- **Риска.** Для оценки риска торговых стратегий самый распространенный показатель — это максимальное проседание. Причем различают два вида: в первом случае под максимальным проседанием имеют в виду денежное значение крупнейшей (в денежном эквиваленте) последовательности убыточных сделок, во втором случае говорят о величине самого глубокого понижения кривой доходности торгового счета перед достижением нового пика. Далее для количественной оценки введем показатель  $R = (A_{max} - A_{min})/P_{avg}$ , где  $A_{max}$  и  $A_{min}$  — локальные экстремумы, достигнутые последовательно и имеющие наибольшую разницу,  $P_{avg}$  — среднее значение цены актива.

- **Прибыли.** Большинство критериев эффективности связаны именно с данной оценкой. Среди основных и самых распространенных можно отметить такие показатели, как отношение доход/риск, отношение доходность/капитал, а также показатель полезного действия модели, который рассчитывается как отношение фактической доходности к идеальной (под идеальной доходностью понимают покупку в каждом дне ценового ряда и продажу на каждом его пике). Однако очень часто оценивая прибыль, забывают о таком важном показателе как величина среднего трейда, так как только при высоком значении данного показателя система будет устойчива к различным издержкам при реальной торговле (транзакционные издержки и проскальзывание), которые часто имеют критическое значение. Для количественной оценки введем показатель  $\varepsilon = \sum_i |P_{i+1} - P_i| / \sum_j ((P_{j+1} - P_j) * \tau_j)$ , где  $P_i$  — цена актива в момент  $i$ ,  $P_j$  — цена актива в момент  $j$ -й сделки,  $\tau_j$  — функция, принимающая значение (1) для buy ордера и (-1) для ордера.

- **Стабильности.** К этим показателям чаще всего относят количество сделок на анализируемом участке, процент прибыльных сделок, отношение среднего выигрыша к среднему проигрышу и другие. Эти показатели показывают некую стабильность системы. Например, если за весь анализируемый промежуток торговая стратегия совершила всего несколько сделок, то состоятельность всех остальных показателей находится под вопросом из-за малой выборки. Как бы ни были разнообразны оценки эффективности торговых систем, на основании которых принимаются решения о торговле по системе на конкретных активах, в большинстве случаев они являются различными комбинациями динамики изменения прибыли и количества сделок. Все показатели в той или иной степени являются производными от этих величин. Поэтому остро стоит проблема в новых критериях для отбора активов, не связанных с указанными выше показателями. Другая проблема анализа торговых стратегий состоит в том, что даже самый обстоятельный анализ осуществляется на прошлых, исторических данных. В силу динамичности и изменчивости рынков показатели, рассчитанные на тестируемом участке, не всегда остаются такими во время торговли. На данное обстоятельство и указывают критики торговых систем, апеллируя к их недостаткам. Рынки очень динамичны и быстро меняются. Во многих работах по торговым системам, в частности, указывается о невозможности нахождения абсолютной торговой системы, работающей всегда и на всех рынках. Из-за изменчивости рынка все торговые системы с параметрами, разработанными на исторических данных, перестают работать. Возникают большие финансовые потери, несмотря на хорошие финансовые показатели оптимизационного, исторического периода. На многочисленных форумах, посвященных торговым системам, многие участники указывают на такую проблему, что после определенного периода после тестирования и оптимизации торговой системы (а иногда и сразу после начала ее реального использования) начинаются большие убытки при торговле по ней, которых не было на исследуемом историческом участке. Причина данной проблемы — подгонка торговой системы под исследуемый ряд. Проблеме подгонки отводится одна из важнейших ролей при разработке и анализе механических торговых систем. В качестве решения данных недостатков следует разработать новый класс индикаторов и стратегий, которые могут подстраиваться под изменяющиеся факторы. Так же необходима разработка системы, работающей с большим множеством активов. Далее для количественной оценки введем показатель  $\sigma = N_p/N$ , где  $N_p$  — количество прибыльных сделок,  $N$  — общее число сделок.

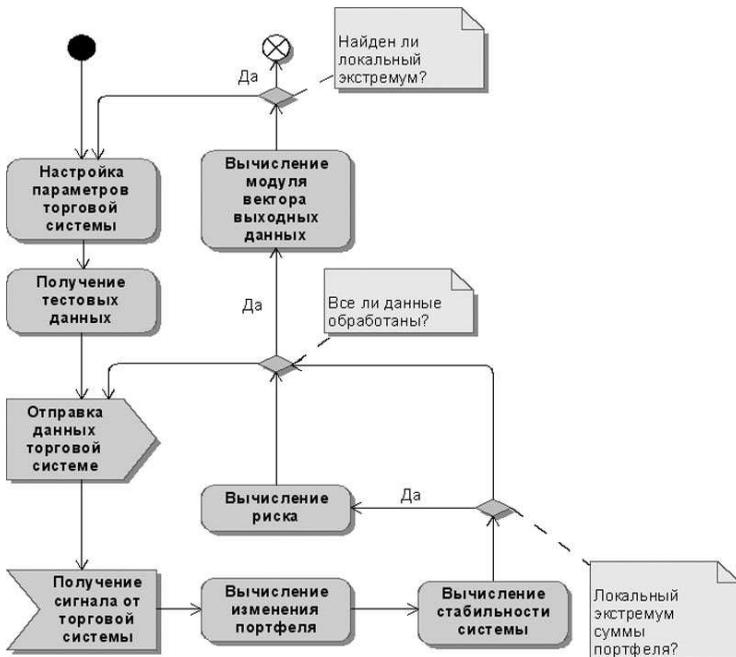
Среди трудов об оптимизации торговых систем можно найти общие советы по достижению и интерпретации результатов [1], [3], [7], однако в рассмотренных мною работах не было найдено формализованного подхода или методологии оптимизации торговых систем, такое положение является следствием отсутствия готовых инструментов, поскольку их разработка является достаточно трудоемкой задачей. Большинство разработчиков применяют для оптимизации встроенные системы тестирования [6], например встроенные средства тестирования системы MetaTrader, которые позволяют протестировать произвести оценку прибыльности системы на отдельном историческом периоде, в связи с этим, возникает задача формализации и автоматизации данного процесса.

Под процессом оптимизации принимается процесс поиска таких параметров торговой системы (параметров отдельных индикаторов и анализаторов, используемых в системе), при которых обозначенные выше параметры принимают наилучшие значения. Для решения данной задачи необходимо разработать систему, которая оперируя параметрами торговой системы будет искать наборы, обеспечивающие наилучшие показатели работы системы. Из теории оптимизации задачей оптимизации в исследовании является задача нахождения экстремума целевой функции в некоторой области конечномерного векторного пространства, ограниченной набором линейных и/или нелинейных равенств и/или неравенств [5]. Рассмотрим торговую систему как функцию многих переменных  $f(x_1 \dots x_n)$ , где  $x_1 \dots x_n$  — параметры индикаторов (и других систем анализа), применяемых в системе. Вычислением функции является процесс вычисления параметров эффективности системы на заданном тестовом отрезке, то есть вектор  $[R, \varepsilon, \sigma]$ . Для применения методов теории оптимизации необходимо отразить вектор в одномерную величину. Для начала необходимо преобразовать значения рисков  $R$ . Данная величина имеет обратную интерпретацию, то есть чем больше число — тем хуже показатель. Заменим его обратным значением  $\omega = 1/R$ . Теперь можно в качестве выходного значения оперировать значением модуля вектора, достижение максимума которого будет задачей оптимизации. Таким образом, получаем логический контейнер для торговой системы, который на входе имеет вектор параметров анализа, и выходное значение модуля вектора оценки торговой системы (Рисунок 1):



**Рисунок 1. Контейнер для оптимизации торговой системы**

На каждом шаге оптимизации происходит настройка и тестирование торговой системы на одном конечном наборе тестовых данных. Задачей оптимизации является нахождение максимума значения модуля обозначенного вектора. Алгоритм оптимизации представлен на рисунке 2:



**Рисунок 2. Алгоритм оптимизации торговой системы**

С одной стороны выбор метода оптимизации ограничен дискретностью параметров торговой системы, с другой — количество вариантов наборов параметров разумно ограничено окрестностью рекомендуемых параметров для каждого из индикаторов. Так, для индекса среднего направления (ADX, Averaged Directional Index) рекомендуемым параметром длины участка расчёта является 14, и значения более 20 и менее 9 не имеют смысла при внутредневном анализе. Таким образом, для такого индикатора с одним параметром, допустимые значения ограничены отрезком [9 ... 20], поэтому в ходе разработки такой системы, был применен поиск экстремумов методом полного перебора. В результате такой оптимизации желательно получить набор экстремумов, который позволит среди систем выделить ту, которая будет соответствовать ожидаемому результату:

- наибольшей прибыли;
- наименьшим рискам;
- наибольшей стабильности.

Главным плюсом рассмотренного подхода является системность и формализованность. К минусам можно отнести длительность поиска экстремумов: система требует большого количества циклов перетестирования. Для проверки эффективности такого решения была взята ранее разработанная мною механическая торговая система, использующая технический анализ [6]. Для нее был разработан механизм тестирования, рассчитывающий показатели эффективности на основании сигналов, генерируемых системой в ответ на входные исторические рыночные данные и оболочка, описанная выше. Пространство входных данных было ограничено окрестностью вокруг значений, рекомендуемых авторами индикаторов. Как показало тестирование системы, процесс является ресурсоемким. Результат выполнения оптимизации был получен в виде набора локальных экстремумов. Тестирование показало применимость метода, выводы об эффективности требует длительного применения системы на реальных рыночных данных.

### **Выводы**

В статье был рассмотрено применение теории оптимизации для достижения наилучших показателей работы механической торговой системы. Были представлены критерии эффективности, на основании которых может проводиться оптимизация. Так же метод был испытан практически, что позволило судить о его работоспособности. Однако, эффективность метода не была оценена, ввиду необходимости длительного применения оптимизированной системы на реальном рынке.

### **Список литературы:**

1. Брюс Бэбкок. Оптимизация торговых систем: сайт. — URL: <http://speculator-fin.ru/page-id-228.html> (дата обращения: 10.02.2012)
2. Васильев Ф. П., «Методы оптимизации», издательство Факториал Пресс, 2002. 824 с.
3. Как оптимизировать торговые системы?: сайт. — URL: [http://wellforex.ru/index/kak\\_optimizirovat\\_torgovyie\\_sistemy/0-17](http://wellforex.ru/index/kak_optimizirovat_torgovyie_sistemy/0-17) (дата обращения: 20.12.2011)
4. Лукашев А. В. «Применение технического анализа для построения алгоритма работы торговой системы» // «Информационные системы и технологии» («ИСИТ») — 2011 - № 6 — С. 94—98
5. Пардо Р. Разработка, тестирование, оптимизация торговых систем для биржевого трейдера. - Минакс: 2002. — 224 с.
6. Тестирование и оптимизация механических торговых систем (советников/экспертов) на рынке Форекс в терминале MetaTrader 4: сайт. — URL: <http://www.forexword.ru/article/gambit/test-expert.html> (дата обращения: 25.12.2011)
7. Чем отличается оптимизация торговой системы от ее переоптимизации?: сайт. — URL: <http://smart-lab.ru/blog/14528.php> (дата обращения: 22.12.2011)

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС  
ДЛЯ ПРОЕКТНОГО РАСЧЕТА И СИНТЕЗА  
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ  
ОДНОШНЕКОВЫХ ЭКСТРУДЕРОВ  
В ПРОИЗВОДСТВАХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТЕРМОПЛАСТОВ**

***Полосин Андрей Николаевич***

*канд. техн. наук, доцент, СПбГТИ(ТУ), г. Санкт-Петербург*

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

***Тян Евгений Викторович***

*аспирант, СПбГТИ(ТУ), г. Санкт-Петербург*

*E-mail: [tian2003@list.ru](mailto:tian2003@list.ru)*

***Павлов Сергей Николаевич***

*магистрант, СПбГТИ(ТУ), г. Санкт-Петербург*

*Основной тенденцией развития современных экструзионных производств изделий (пленок, листов, плит, труб) из термопластов, обусловленной усилением конкурентной борьбы на международных рынках тароупаковочных средств и строительных материалов, является значительное расширение ассортимента, увеличение объема и повышение качества продукции, способствующей экономии сырьевых и энергетических ресурсов, росту экологической безопасности. Ключевой стадией процесса изготовления термопластичных изделий методом экструзии, определяющей производительность линии и качество (толщину, цвет, количество и площадь дефектов — нерасплавленных включений, черных точек, воздушных пузырей) изделий, является переработка сыпучих термопластов и композиций на их основе в пластицирующих одношнековых экструдерах непрерывного действия. Поэтому при проектировании нового и перенастройке (на изменяющийся ассортимент сырья и продукции, производительность) существующего производства необходимо определить геометрические и режимные параметры экструдера в зависимости от заданной производительности, типа термопласта, вида изделия и построить по ним трехмерную геометрическую модель агрегата, обеспечивающую наглядность и интерпретируемость проектного решения. Трудоемкость проектного расчета экструдеров обусловлена сложностью их конструкции, аппаратной гибкостью для переработки различных типов термопластов в изделия разной конфигурации. Это делает*

актуальной задачей разработки гибкого проблемно-ориентированного программного комплекса, позволяющего с использованием математической модели (ММ) для проектного расчета определить конструктивно-технологические параметры экструдера и с использованием библиотеки геометрических моделей конструктивных элементов экструдера синтезировать трехмерную модель агрегата.

Конструктивными элементами экструдера являются: шнек и корпус (основные элементы); загрузочный бункер, станина, на которой устанавливается корпус, блок упорных подшипников, воспринимающих осевое усилие, действующее на шнек, привод шнека (электродвигатель и редуктор), система теплоснабжения корпуса (вспомогательные элементы) [1, с. 48—77]. Подготовка термопласта к формованию, его нагрев, плавление, перемешивание осуществляются с помощью шнека, вращающегося в корпусе экструдера. Шнеки для переработки аморфных и кристаллических термопластов включают три конструктивные зоны: зону питания ( $i=1$ ), зону сжатия/плавления ( $i=2$ ) и зону дозирования/транспортировки расплава ( $i=3$ ). Анализ одношнековых экструдеров, типов перерабатываемых в них сырьевых материалов и видов экструдруемых изделий позволил построить формализованное описание экструдера как объекта проектного расчета, включающее векторы входных  $X$ , варьируемых  $V$  параметров и критериальных показателей  $Y$ :

$$Y = \Phi(X, V), Y = \{Q\}, X = \{M, P\}, M = \{T_M, d, \rho\}, \\ T_M = \{PA, PE_{HD}, PE_{LD}, PP, PS, PS_{HS}, PVC_R, PVC_P\}, P = \{C, \Gamma\}, \\ C = \{G, F_p, F_t, S, T\}, V = \{D, B, L_i, H_i, e_i, i = \overline{1, 3}, \delta, N\},$$

где:  $Q$  — производительность, кг/с;

$M, P$  — векторы характеристик термопласта и изделия;

$T_M$  — тип термопласта;

$d$  — средний диаметр частиц, м;

$\rho$  — плотность расплава, кг/м<sup>3</sup>;

PA — полиамид 6,6 (ПА);

PE<sub>HD</sub>, PE<sub>LD</sub> — полиэтилен (ПЭ) высокой и низкой плотности;

PP — полипропилен (ПП);

PS, PS<sub>HS</sub> — полистирол (ПС) и ПС ударопрочный;

PVC<sub>R</sub>, PVC<sub>P</sub> — поливинилхлорид (ПВХ) жесткий и пластифицированный;

$C, \Gamma$  — векторы видов и геометрических параметров изделий;

$G$  — гранулы;

$F_p, F_t$  — пленки плоские и рукавные;

$S$  — листы;

$T$  — трубы;  
 $D$  — диаметр шнека, м;  
 $B$  — шаг нарезки шнека, м;  
 $L_i$  — длина  $i$ -й зоны, м;  
 $H_i$  — глубина канала в  $i$ -й зоне, м;  
 $e_i$  — толщина гребней витков нарезки в  $i$ -й зоне, м;  
 $\delta$  — радиальный зазор между гребнями витков нарезки шнека и внутренней поверхностью корпуса, м;  
 $N$  — рабочая частота вращения шнека, об/с.

Задача проектного расчета заключается в следующем: для заданных характеристик термопласта  $M$  и изделия  $P$  по ММ рассчитать геометрические и режимные параметры одношнекового экструдера  $V$ , обеспечивающие заданную производительность  $Q_0: Q(X, V) \geq Q_0$ .

Поставленная задача решается с использованием метода проектного расчета одношнековых экструдеров, предложенного Р. В. Торнером [2, с. 339—342]. Для этого разработана аналитическая ММ, представляющая собой следующую систему выражений для расчета параметров пластицирующего экструдера с  $z_f$ -заходным термически нейтральным шнеком переменной (уменьшающейся) глубины (при постоянном шаге нарезки):

$$D = \sqrt[3]{2 \cdot Q_0 / [k_{H3}^2 \cdot (1 - z_f \cdot k_{e3}) \cdot \cos^2 \varphi \cdot \rho \cdot \bar{\gamma}]},$$

$$\varphi = \arctg[B/(\pi \cdot D)], \quad B = k_B \cdot D; \quad (1)$$

$$L = m_{scr} \cdot D, \quad L_1 = L - L_2 - L_3, \quad L_i = m_i \cdot D, \quad i = 2, 3; \quad (2)$$

$$H_1 = 0,5 \cdot D \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot \chi \cdot H_3}{D} \cdot \left( 1 - \frac{H_3}{D} \right)} \right],$$

$$H_2 = H_1 - \frac{H_1 - H_3}{L_2} \cdot l, \quad 0 \leq l \leq L_2,$$

$$H_3 = \sqrt{2 \cdot Q_0 / [(1 - z_f \cdot k_{e3}) \cdot D \cdot \rho \cdot \bar{\gamma}]} \cdot \cos^{-1} \varphi; \quad (3)$$

$$e_i = k_{ei} \cdot D, \quad i = 1, 3; \quad (4)$$

$$\delta = \sqrt[3]{(B - z_f \cdot e_3) \cdot e_3 \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + B^2} / [12 \cdot D \cdot B \cdot (a + b \cdot B^2)]}; \quad (5)$$

$$N = H_3 \cdot \bar{\gamma} / (\pi \cdot D), \quad (6)$$

где:  $k_{H3}$ ,  $k_{ei}$ ,  $k_B$  — коэффициенты зависимости глубины канала, толщины гребней и шага нарезки от диаметра шнека;

$\varphi$  — угол подъема винтовой линии нарезки шнека, рад;

$L$  — длина шнека, м;

$m_{scr}$  — число витков нарезки шнека (как правило, у современных экструдеров для переработки термопластов  $m_{scr}=15—25$ ; так, для раздувных экструдеров  $m_{sc}=25$ );

$m_2, m_3$  — число витков в зонах сжатия и дозирования;

$\chi$  — геометрическая степень сжатия термопласта (отношение объемов канала на длине одного шага в зонах питания и дозирования);

$l$  — координата по длине зоны сжатия, измеренная вдоль оси шнека, м;

$\bar{Y}$  — средняя скорость деформации сдвига расплава термопласта в канале шнека, зависящая от типа  $T_M$  и размера частиц  $d$  материала, вида изделия  $C$ ,  $c^{-1}$ ;

$a$  [ $m^{-2}$ ],  $b$  [ $m^{-4}$ ] — геометрические коэффициенты, зависящие от диаметра шнека, глубин канала шнека в зонах питания и дозирования и рассчитываемые по формулам, приведенным в работе [4, с. 24].

Число витков в зоне сжатия  $m_2$  выбирается по экспериментальным данным об изменении удельного объема термопласта по длине шнека с учетом его термостабильности. Так, при переработке термостабильных материалов (например, ПА, ПП, ПС, ПЭ), не боящихся быстрого сжатия, и, следовательно, интенсивного механического и теплового воздействия, применяются шнеки с короткой зоной сжатия (обычно  $m_2=1—4$  [4, с. 14]). При этом длина зоны дозирования составляет около половины длины шнека ( $m_3=8—9$  [3, с. 138]). Если же перерабатываются термопласты с малой термостабильностью (например, ПВХ), то шнек имеет удлиненную зону сжатия ( $m_2=(1/3—1/2) \cdot m_{scr}$ ), что обеспечивает постепенное уплотнение материала. Длина зоны питания составляет около половины длины шнека. Степень сжатия ( $1 < \chi \leq 6$ ) выбирается в зависимости от типа и размера частиц сыпучего термопласта. Степень сжатия порошкообразного материала ( $d < 0,002$  м) примерно в два раза превышает степень сжатия гранулированного материала ( $d \geq 0,002$  м). Так, степень сжатия гранул ПЭ низкой плотности составляет 1,5—3,0, а порошка — 3,0—5,0 [3, с. 96].

По значениям шага, толщины гребней и угла подъема нарезки рассчитывается ширина канала в  $i$ -й зоне:

$$W_i = (B - z_f \cdot e_i) \cdot \cos \varphi / z_f \cdot \quad (7)$$

ММ (1)—(7) позволяет рассчитать геометрические параметры и частоту вращения шнека, обеспечивающие заданную производительность экструдера, для различных типов гранулированных, порошкообразных термопластов и видов изделий. В зависимости от диаметра и длины шнека определяются диаметр  $D_b$  и длина  $L_b$  корпуса, диаметр загрузочного окна  $D_f$  корпуса:

$$D_b = D + 2 \cdot (\delta + \delta_b + \delta_{is}), L_b = L, D_f = k_f \cdot D, \quad (8)$$

где:  $\delta_b, \delta_{is}$  — толщина стенки корпуса и слоя его изоляции (из слюды, миканита и др.), на которой монтируются электронагреватели, м;  
 $k_f = 1,5—2,5$  [1, с. 64].

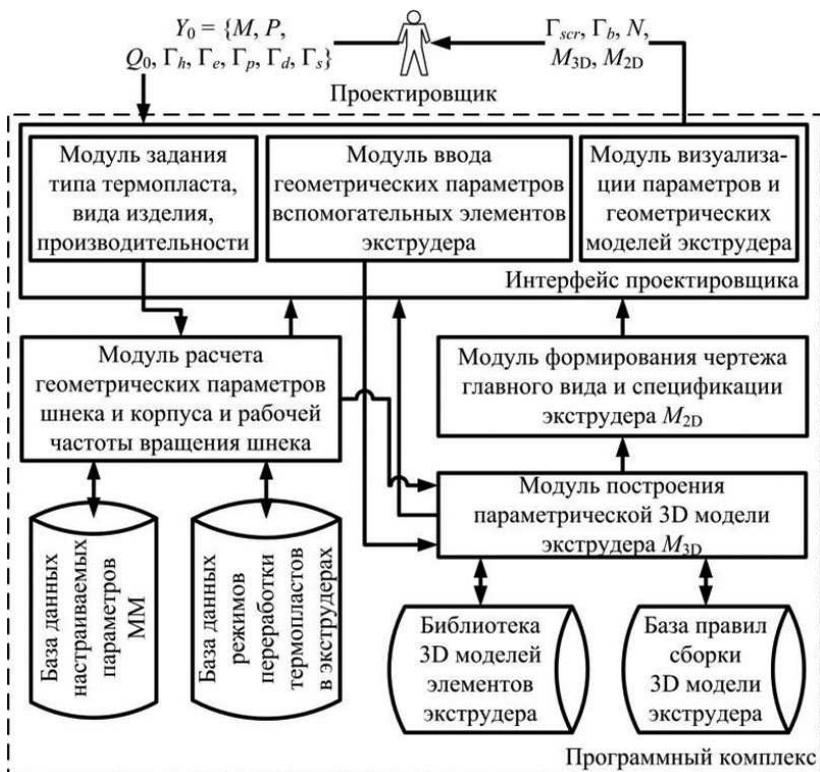
Пример проектного расчета одношнекового экструдера приведен в таблице 1.

**Таблица 1**

**Пример проектного расчета экструдера**

Исходные данные для расчета, задаваемые проектировщиком	Параметры, выбираемые из баз данных в зависимости от характеристик термопласта	Рассчитанные геометрические и режимные параметры шнека экструдера
Характеристики термопласта: $T_M = PE_{LD}; d = 0,003$ м; $\rho = 910$ кг/м <sup>3</sup> [5, с. 48]	Геометрические коэффициенты: $k_B = 1,0;$ $m_{scr}(T_M, C) = 20;$ $m_2(T_M) = 1; m_3(T_M) = 9;$ $\chi(T_M, d) = 3,0;$ $k_{ei}(Q_0) = 0,08, i = \overline{1, 3}$	Геометрические параметры $\Gamma_{scr};$ $D = 0,09$ м; $B = 0,09$ м; $\varphi = 17,7^\circ;$ $L = 1,8$ м; $L_1 = 0,9$ м; $L_2 = 0,09$ м; $L_3 = 0,81$ м; $H_1 = 0,013$ м; $H_2 = 0,013—0,1 \cdot l,$ $0 \leq l \leq 0,09; H_3 = 0,004$ м; $e_i = 0,007$ м, $i = \overline{1, 3};$ $\delta = 0,0002$ м; $W_i = 0,079$ м, $i = \overline{1, 3}$
Вид изделия и производительность: $C = F_p; Q_0 = 0,036$ кг/с	Рекомендуемый режим переработки: $\bar{\gamma}(T_M, d, C) = 80$ с <sup>-1</sup>	Рабочая частота вращения шнека: $N = 1,13$ об/с

Рассчитанные геометрические параметры шнека  $\Gamma_{scr}$  и корпуса  $\Gamma_b$ , заданные геометрические параметры вспомогательных конструктивных элементов экструдера: бункера  $\Gamma_h$  (диаметр, высота); электронагревательных элементов корпуса  $\Gamma_e$  (количество электронагревателей, длина и размеры поперечного сечения каждого электронагревателя); блока упорных подшипников  $\Gamma_p$ , приводного механизма  $\Gamma_d$ , станины  $\Gamma_s$  (габаритные размеры) передаются в подсистему синтеза 3D модели агрегата. Подсистема синтеза включает библиотеку 3D моделей отдельных элементов экструдера, модуль сборки 3D модели экструдера из моделей элементов в соответствии с правилами сборки, хранящимися в базе правил. Функциональная структура разработанного программного комплекса представлена на рисунке 1.



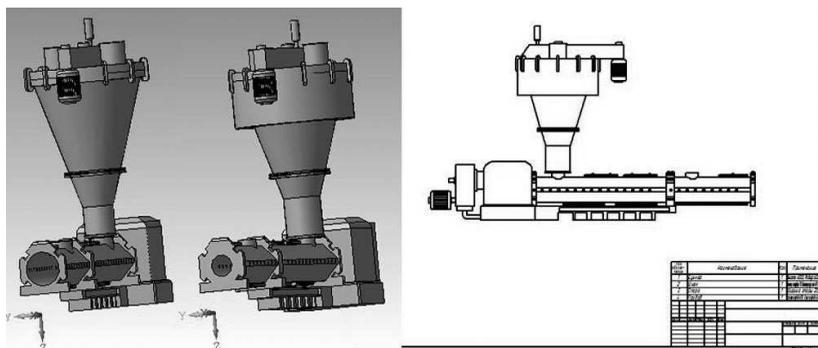
**Рисунок 1. Функциональная структура программного комплекса**

Комплекс включает подсистему проектного расчета и подсистему геометрического моделирования. Информационное обеспечение подсистемы проектного расчета содержит базу данных (БД) настраиваемых параметров ММ, позволяющую сформировать значения геометрических коэффициентов ММ в зависимости от типа термопласта и вида изделия, и БД режимов переработки, предназначенную для определения рекомендуемого значения средней скорости сдвига материала заданного типа в канале шнека при изготовлении данного вида изделия. БД содержат данные для 8 типов термопластов и 5 видов изделий.

Подсистема геометрического моделирования позволяет синтезировать параметрическую 3D модель экструдера данного типа, на основе которой при изменении геометрических параметров конструктивных элементов строится новая 3D модель экструдера того же типа, но с отличными от предыдущей модели параметрами (рисунок 2).

Кроме того, по созданной 3D модели происходит автоматическое формирование 2D модели, содержащей чертеж главного вида и спецификацию спроектированного экструдера (рисунок 2).

Тестирование программного комплекса, выполненное на примерах проектного расчета и синтеза геометрических моделей пластицирующих одношнековых экструдеров с однозаходными шнеками для изготовления пленок и листов из ПВХ, ПП, ПЭ, подтвердило его работоспособность и возможность использования для предварительного определения параметров экструдеров.



**Рисунок 2. Построенные геометрические модели экструдера**

При разработке программного комплекса использованы следующие информационные технологии: СУБД Access (для создания реляционных БД параметров ММ и режимов переработки), САД система Компас 3D (для реализации подсистемы синтеза геометрических моделей), среда объектно-ориентированного программирования Visual C++ (для создания модуля расчета параметров экструдера по ММ, интерфейса проектировщика, интерфейсов доступа к данным и вызова API функций Компас 3D).

Таким образом, разработан гибкий проблемно-ориентированный программный комплекс, включающий ММ для проектного расчета, информационную подсистему и подсистему геометрического моделирования и позволяющий рассчитать геометрические параметры шнека и корпуса экструдера, обеспечивающие заданную производительность процесса, и построить параметрические 3D и 2D геометрические модели экструдера для различных типов перерабатываемых термопластов и видов экструдруемых изделий. Программный комплекс может быть интегрирован в подсистему синтеза производственных линий в рамках

САПР многоассортиментных экструзионных и каландровых производств полимерных материалов для решения задач проектирования новых и перенастройки существующих производств на изменяющийся ассортимент сырья и изделий, производительность.

### **Список литературы:**

1. Раувендааль К. Экструзия полимеров. СПб.: Профессия, 2008. 768 с.
2. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов). М.: Химия, 1977. 464 с.
3. Торнер Р. В., Акутин М. С. Оборудование заводов по переработке пластмасс: учеб. пособие. М.: Химия, 1986. 400 с.
4. Шембель А. С., Антипина О. М. Сборник задач и проблемных ситуаций по технологии переработки пластмасс: учеб. пособие. Л.: Химия, 1990. 272 с.
5. Extrusion Processing Data / A. Naranjo C. [et al.]. Munich: Hanser, 2001. 128 p.

## СЕКЦИЯ 6.

### ЭНЕРГЕТИКА

#### **ВЫДАЧА МОЩНОСТИ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ПРИЛЕГАЮЩЕЙ СЕТИ 500 КВ**

*Пузырев Евгений Владимирович*

*преподаватель кафедры ГГЭЭС, СШФ СФУ, г. Саяногорск,  
п.г.т. Черёмушки*

*E-mail: [Jane2387@mail.ru](mailto:Jane2387@mail.ru)*

Производство, передача и распределение электрической энергии — это единый непрерывный процесс существования электрических режимов. Поддержание этих режимов на заданном уровне способствует повышению эффективности производства, надежности электроснабжения потребителей, надежности работы Единой энергетической системы страны.

В настоящее время в электроэнергетике России нарастает дефицит мощности и электроэнергии, который пока имеет локальный характер на уровне ряда региональных энергосистем. Это является следствием неравномерных темпов развития экономики различных регионов страны, недостаточности вводов генерирующих мощностей и ограниченности пропускных способностей электрических связей для передачи мощности и электроэнергии из избыточных регионов в дефицитные. Электрические сети страны в предстоящие годы будут развиваться в соответствии с необходимостью удовлетворения нужд развивающегося отечественного рынка электроэнергии и мощности, обеспечения надежности работы ЕЭС России и электроснабжения потребителей. В этой области обеспечение устойчивости энергосистем представляет одну из наиболее важных задач.

Таким образом, развитие электрической сети Южного узла ОЭС Сибири необходимо направить на:

- обеспечение надежной выдачи мощности крупных электростанций;
- обеспечение надежности питания крупных узлов нагрузки;
- усиление сети для уменьшения влияния сетевых ограничений.

В настоящее время выдача максимальной мощности Саяно-Шушенской ГЭС ограничена. Установленная мощность СШГЭС составляет 6400 МВт, но часть этой мощности оказалась связанной в силу системных и сетевых ограничений. Максимально-допустимая выдача мощности СШГЭС составляет 4400 МВт с учетом обеспечения условий динамической устойчивости. Ограничение использования мощности существенным образом сказывается на годовой выработке электроэнергии и поставке её на оптовый рынок электроэнергии и мощности. Саяно-Шушенская ГЭС имеет следующие ограничения на выдачу максимальной мощности:

1) Недостаточно высокий предел по статической устойчивости;

До ввода в работу Хакасского алюминиевого завода, БСК на ПС Алюминиевая и Означенное предельная по статической устойчивости мощность СШГЭС составляла 5600 МВт. При существующей нормальной схеме электропередачи для сечения СШГЭС предельная мощность составляет 6030 МВт.

2) Невысокая динамическая устойчивость Южного узла при работе генераторов станции в нормальной схеме электропередачи при нормативных аварийных возмущениях;

Именно наличие в сечении СШГЭС двух протяженных линий электропередач ВЛ-541 СШГЭС — Новокузнецкая № 1 и ВЛ-542 СШГЭС — Новокузнецкая № 2 протяженностью 469,0 км и 448,3 км соответственно и существующая возможность выделения на ВЛ-542 двух блоков способствуют снижению максимальной выдачи мощности до 4400 МВт.

3) Токовые ограничения;

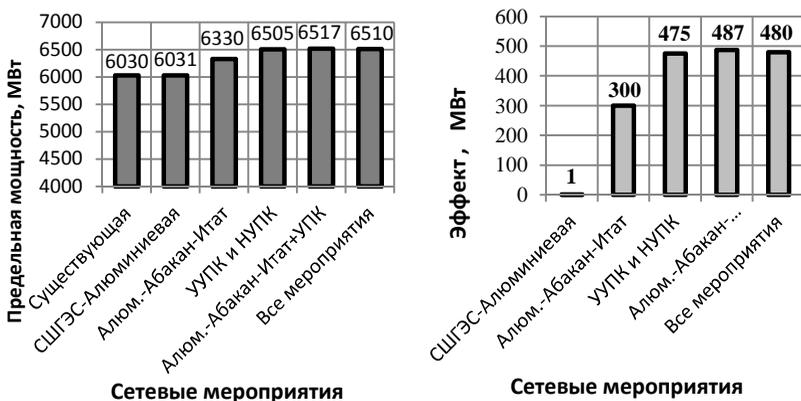
Сечение СШГЭС включает в себя две короткие линии электропередач ВЛ-543 СШГЭС — Означенное № 1 и ВЛ-544 СШГЭС — Означенное № 2 протяженностью по 30,9 км. При температуре окружающего воздуха 25 °С длительно-допустимый ток составляет 2835 А.

В связи с названными ограничениями возможности крупнейшей в стране станции Саяно-Шушенской ГЭС в полной мере не реализуются — отсюда, как следствие, значительная недовыработка электроэнергии, и как результат, запертая мощность 2000 МВт. Для уменьшения, либо полного устранения части названных ограничений необходимо развитие и усиление прилегающей к станции сети 500 кВ. В работе была рассмотрена эффективность сетевых мероприятий по обеспечению максимальной выдачи мощности Саяно-Шушенской ГЭС. Для этого был произведен расчёт статической и динамической устойчивости Южного узла ОЭС Сибири при работе гидрогенераторов



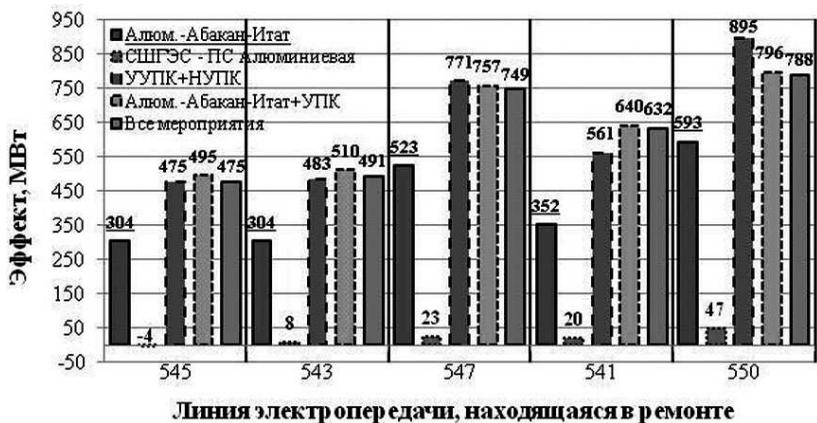
- ввод в работу второй цепи Алюминиевая — Абакан — Итат и установка устройств продольной компенсации;
- ввод в работу второй цепи Алюминиевая — Абакан — Итат, дополнительной линии СШГЭС — Алюминиевая и установка УПК;

На рисунке 3 представлена диаграмма предельных перетоков мощности в нормальной схеме электропередачи при различных сетевых мероприятиях и их эффективность. Наибольшая предельная мощность 6517 МВт достигается после реализации в совокупности двух мероприятий. При этом максимальный положительный эффект составляет 487 МВт. Ввод в работу дополнительной цепи СШГЭС—Алюминиевая вызывает снижение предельной мощности на 7 МВт. Как отдельное мероприятие ввод в работу цепи СШГЭС — Алюминиевая в полной схеме положительного эффекта не даёт. Эффект от ввода в работу второй цепи Алюминиевая — Абакан — Итат составляет 300 МВт, а от ввода УПК — 475 МВт.

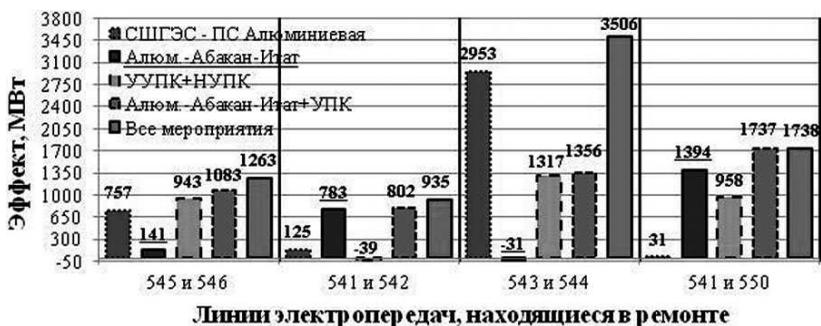


**Рисунок 3. Предельные по статической устойчивости перетоки мощности в сечении СШГЭС в полной схеме и эффективность сетевых мероприятий**

Эффективность рассмотренных мероприятий в одноремонтных схемах представлена на рисунке 4. Из диаграммы следует, что наименьший эффект дает ввод в работу цепи СШГЭС—Алюминиевая, а в ремонтной схеме с отключенной линией ВЛ-545 эффект от реализации отрицательный — снижение предела статической устойчивости на 4 МВт. Максимальный эффект проявляется в схеме с выведенной в ремонт линией ВЛ-550 от ввода в работу УПК — и составляет 895 МВт.



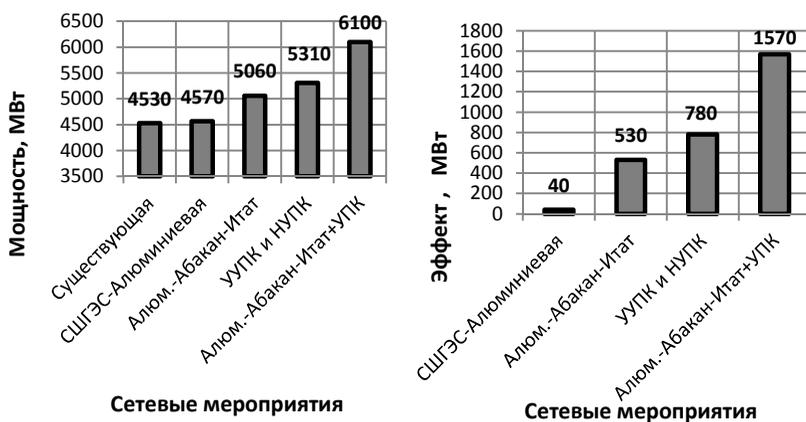
**Линия электр опер едачи, находящаяся в ремонте**  
*Рисунок 4. Эффект от реализации сетевых мероприятий в одноремонтных схемах*



**Линии электр опер едач, находящиеся в ремонте**  
*Рисунок 5. Эффект от реализации сетевых мероприятий в двухремонтных схемах и одноремонтных схемах с выводом противоаварийной автоматики*

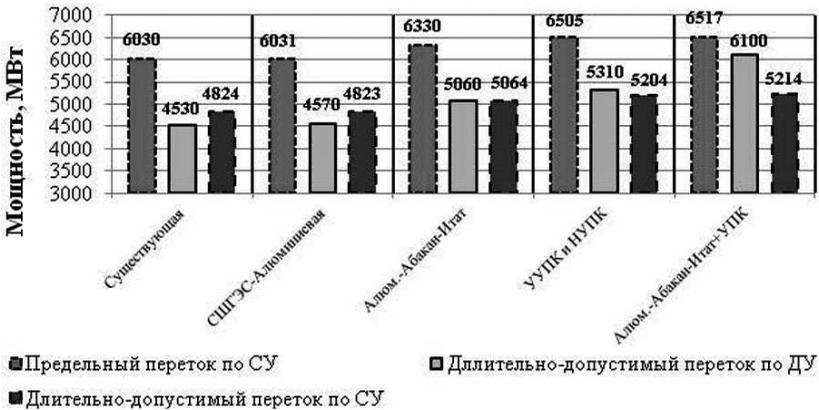
В двухремонтных схемах эффективность рассмотренных мероприятий приведена на рисунке 5. В данном случае предельная мощность для сечения СШГЭС определяется в двухремонтных схемах и в одноремонтных схемах с выведенной из работы противоаварийной автоматикой и автоматикой, функции которой снижены. В ремонтной схеме с отключенной линией ВЛ-545 в послеаварийном режиме ввод в работу цепи СШГЭС—Алюминиевая повышает предельную мощность до 6034 МВт, при этом положительный эффект составляет 757 МВт. Наибольший эффект от реализации данного мероприятия достигается в

послеаварийном режиме в ремонтной схеме с отключенной линией ВЛ-543 и составляет 2953 МВт. Из результирующей диаграммы следует, что наибольшие положительные эффекты в рассмотренных двух-ремонтных схемах проявляются только после реализации всех мероприятий. Максимальный эффект от ввода УПК составляет 1317 МВт в ремонтной схеме с отключенной линией ВЛ-544 в послеаварийном режиме. В ремонтных схемах с выведенными из работы линиями ВЛ-541 и ВЛ-543 в послеаварийных режимах эффекты от ввода в работу второй цепи Алюминиевая-Абакан-Итат отрицательные — снижение предельной мощности на 39 МВт и 31 МВт соответственно. Вышерассмотренные мероприятия были проверены на динамическую устойчивость. При расчете электромеханических переходных режимов был произведен учёт электрических параметров: генераторов электростанций, регуляторов скорости, регуляторов возбуждения, возбудителей, форсировок. Эффективность мероприятий по выдаче наибольшей мощности Саяно-Шушенской ГЭС оценивалась путем определения максимальной загрузки станции при наиболее тяжелых нормативных возмущениях в режимах максимума нагрузки [2]. В работе было рассмотрено шесть ремонтных схем. На рисунке 6 представлена диаграмма выдачи максимальной мощности СШГЭС по условиям обеспечения динамической устойчивости в полной схеме при различных сетевых мероприятиях и показана их эффективность [1]. Наибольший эффект 1570 МВт достигается в полной схеме после реализации в совокупности двух сетевых мероприятий.



**Рисунок 6. Допустимый по динамической устойчивости переток в сечении СШГЭС в нормальной схеме и эффективность сетевых мероприятий**

На рисунке 7 представлена совмещенная диаграмма перетоков мощности в сечении СШГЭС.



**Рисунок 7. Диаграмма предельных и длительно-допустимых по динамической и статической устойчивости перетоков в нормальной схеме**

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- Максимально-допустимый переток мощности в существующей нормальной схеме электропередачи может быть увеличен на 130 МВт и составит 4530 МВт;
- Максимальный предел по статической устойчивости достигает 6517 МВт в полной схеме после реализации двух сетевых мероприятий;
- Динамическая устойчивость обеспечивается при загрузке станции 6100 МВт без учёта действия противоаварийной автоматики в полной схеме с введенными в работу УПК и второй цепи Алюминиевая — Абакан — Итат;
- В большинстве ремонтных схем предельная выдача мощности СШГЭС ограничивается условиями обеспечения динамической устойчивости в послеаварийных режимах;
- Влияние дополнительной цепи СШГЭС — Алюминиевая неоднозначно:
  - В полной схеме положительный эффект не обеспечивается;
  - В ремонтных схемах положительный эффект обеспечивается только в послеаварийных режимах;
- Вторая цепь Алюминиевая-Абакан-Итат во всех рассмотренных схемах способствует повышению динамической устойчивости

Южного узла, а также предела статической устойчивости в полной схеме на 300 МВт;

- Основной мерой по повышению статической и динамической устойчивости Южного узла является установка на длинных линиях управляемых и неуправляемых устройств последовательной компенсации. Предельная по статической устойчивости мощность в сечении СШГЭС достигает 6505 МВт, а длительно-допустимая по динамической устойчивости — 5310 МВт в полной схеме.

### **Список литературы:**

1. Веников В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учебник для электроэнергетич. специальностей вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. М.: «Высшая школа», 1978. — 415 с.: ил.
2. Методические указания по устойчивости энергосистем. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

## **К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ С ПОМОЩЬЮ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ**

*Сультимова Валентина Дампиловна*  
*канд. техн. наук, доцент ВСГУТУ, г. Улан-Удэ*

*Инкеева Сэсэгма Андреевна*  
*студент, ВСГУТУ, г. Улан-Удэ*  
*E-mail: [i.sesegma.a@gmail.com](mailto:i.sesegma.a@gmail.com)*

Состав и свойства золошлаковых отходов ТЭС зависят от минерального состава топлива и способа его сжигания. Угли разных месторождений и, соответственно, золы, образующиеся при их сжигании, существенно различаются по составу минеральной части — содержанию и соотношению основных элементов. Они содержат окислы ряда таких элементов, как кремний, алюминий, кальций, железо, магний, натрий, калий, а также микрокомпоненты, содержание которых менее 0.1 %. Это германий, галлий, ванадий, титан, стронций, скандий, литий, молибден, бериллий, кобальт, цирконий, хром, никель, золото, серебро, редкоземельные металлы (лантан, иттрий, иттербий). Присутствие в золах

комплексов этих ценных элементов позволяет рентабельно извлекать их при содержании даже более низком, чем в промышленных рудах, что в значительной степени снижает расходы на геологические поиски рудного сырья, разведку месторождений, добычу руды, ее дробление, обогащение, транспортировку. В процессе фракционирования золошлаковых отходов выделяются магнитные микросферы, применяемые в металлургии, приборостроении, радиотехнике и электронике. Себестоимость получения редких металлов из зол на 60 % ниже, чем их извлечение из промышленных руд. При этом кроме существенного экономического эффекта решаются многие экологические проблемы.

В настоящее время основное количество золы используется в строительной индустрии (производство цемента, кирпича, изделий из ячеистого бетона, шлакоблоков, легких заполнителей, рубероида, керамзита), в строительстве дамб золошлакоотвалов, строительстве и ремонте дорог. Применение зол и шлаков ТЭС в качестве строительных материалов является наиболее масштабным направлением и может решить проблему дефицита стройматериалов в регионах Российской Федерации. За счет использования золошлаковых отходов экономится до 30 % цемента и более половины природных заполнителей, снижается теплопроводность бетонов, снижается масса зданий и сооружений.

Существующие производства получения минеральных волокон недостаточно эффективны, применяемые аппараты малопроизводительны, поскольку сырье поступает в кускованном виде. Печи громоздки и требуют больших эксплуатационных затрат, также требуются дополнительные энергоемкие операции при переработке руд и измельченных горных пород [1, с. 130]. Применение плазменных технологий для переработки зольных отходов, в частности для производства минеральных волокон, открывает широкие возможности по преодолению тех технологических трудностей, которые возникают в традиционных способах получения минеральных волокон.

Во-первых, процесс из многостадийного превращается в одностадийный с возможностью эффективного автоматического регулирования.

Во-вторых, за счет высокой температуры резко уменьшается количество вредных выбросов в атмосферу.

В-третьих, сокращается время прогрева шихты для плавления, а следовательно снижаются затраты по энергии и времени, возрастает производительность.

Использование электродуговых генераторов низкотемпературной плазмы позволяет в принципе изменить процесс получения минераловатного продукта.

По сравнению с плазменной техникой, применяемой для обработки неорганических материалов, плазменный реактор обладает рядом преимуществ. Во-первых, это очень компактное оборудование; во-вторых, перерабатываемый материал используется практически без предварительной подготовки, за исключением механической фракционной подготовки; в-третьих, процесс плавления сырья и волокнообразования совмещены в одном устройстве, чем обеспечивается одностадийность производства; в-четвертых, конструкция устройства допускает в достаточно широких пределах регулировку рабочих параметров (скорость вращения реактора, мощность источника тепловой энергии), что предоставляет возможность создания автоматической системы управления процессом.

Физико-химическими методами установлено, что при плазменной обработке силикатосодержащих материалов происходит, прежде всего, дегидратация гидратных соединений и декарбонизация карбонатов, которые протекают по топотактическому механизму, т. е. структура гидросиликатов кальция, входящих в состав основы изделия, идентична структуре волластанитов, имеющий волокнистый характер.

Воздействие высококонцентрированного потока плазмы происходит с образованием расплава, который частично диффундирует в поры и микротрещины изделия. Вследствие того, что входящие в состав силикатосодержащих строительных материалов соединения имеют различную температуру плавления и грубодисперсность основы, процесс плавления является неоднородным и локальным. Кроме того, плавление протекает мгновенно, поэтому газовые фазы способствуют образованию пористого покрытия. Структура оплавленной поверхности в значительной степени зависит от режима работы плазмотрона.

Основные реакции, протекающие при образовании стекловидного покрытия и переходного слоя, подвергались термодинамическому анализу, были рассчитаны изменения энергии Гиббса в интервале температур 300—2000 К. Анализ показал, что процессы разложения гидросиликатов кальция протекают в зонах 1—2 мм от поверхности. В зонах более высоких температур происходят фазовые переходы полиморфных превращений кремнезёма, а также волластанита. Проведенные расчеты подтверждают температуру перехода и конгруэнтность плавления. Также установлено, что образование расплава из кварца происходит минуя модификации тридимита и кристобалита в метастабильном состоянии [2, с. 53].

Таким образом, интенсивность плазменной обработки должна подбираться индивидуально с учетом особенностей фазового состава шихты силикатосодержащих материалов и гранулометрического сос-

тава заполнителя, и при фиксированной мощности плазменного генератора может регулироваться скоростью обработки.

Исходным материалом взята зола Тугнуйского угля, который имеет следующий химический состав (масс. %):

$K_2O$  — 2,15;  $Na_2O$  — 0,58;  $SiO_2$  — 45,0;  $Al_2O_3$  — 14,6;  $P_2O_5$  — 0,93;  $CaO$  — 12,62;  $MgO$  — 9,05;  $TiO_2$  — 0,82;  $Fe_2O_3$  — 14,25.

Полученные плазменной технологией минеральные волокна были исследованы следующими методами:

1. определение водостойкости
2. определение содержания «корольков»
3. определение среднего диаметра волокон
4. определение содержания органических веществ
5. определение модуля кислотности
6. определение влажности

Результаты термодинамического расчета выполнены по известной универсальной программе АСТРА-4.

Полученная плазменной технологией минеральная вата по результатам исследований имеет следующие физико-химические свойства: водостойкость 2,08; содержание корольков 22,5; средний диаметр 10,84 мкм; относительная влажность 0,128 %; кислотостойкость 98,5 %; щелочестойкость 97,71 %; средняя длина волокон 60 мм; температуроустойчивость 1600 К; модуль кислотности 13,8 %.

Оптимальная температура составила 1400—1600 К, при которой выбранный способ эффективен и экологически чист.

Электрическая мощность установки составляет 60—100 кВт. Удельные затраты электроэнергии — 3 кВт\*ч/кг.

Выводы:

1. Исследована и выявлена эффективность использования тепловой энергии высококонцентрированных потоков низкотемпературной плазмы при получении минеральных волокон из золошлаковых отходов тепловых электрических станций.

2. Применение плазменной технологии производства минеральных волокон позволит утилизировать большое количество зол, скапливающихся сегодня в золоотвалах.

### Список литературы:

1. Горяинов К. Э., Коровникова В. В. Технология производства полимерных и теплоизоляционных изделий. М.: Наука и техника, 1975. — 130 с.
2. Чистяков Б. З., Лялинов А. Н. Использование минеральных отходов промышленности в производстве строительных материалов. Л.: Стройиздат, 1984 — 53 с.

## СЕКЦИЯ 7.

### МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

#### ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СТАРЕНИЯ СТАЛИ Н18К9М5Т НА ДЕФЕКТ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ МНОГОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ

*Горохов Андрей Юрьевич*

*канд. техн. наук, доцент, Дзержинский политехнический институт,  
г. Дзержинск*

*E-mail: [dpi\\_gorohov@ro.ru](mailto:dpi_gorohov@ro.ru)*

К современным гидроакустическим излучателям, используемым в акустической океанографии, предъявляются высокие требования. Излучатели должны развивать акустическую мощность в десятки киловатт в режиме когерентного излучения и обеспечивать высокую эффективность преобразования энергии. Весо-габаритные характеристики должны допускать их использование в морских условиях. Исходя из этого, конструкционные материалы, применяемые для изготовления крупногабаритных элементов гидроакустических излучателей, должны выдерживать высокие амплитудные напряжения на базе в сотни миллионов циклов нагружения и обладать стабильностью частоты собственных колебаний. Так, относительное изменение частоты собственных колебаний не должно превышать 1 % в процессе работы излучателя. В связи с этим материалы, используемые для изготовления упругих элементов, должны иметь меньший уровень микропластических деформаций в процессе циклического нагружения при высоких значениях предела усталости.

Необходимые сведения о свойствах и поведении материалов, работающих в указанных условиях, а также влиянии на них технологических факторов в литературе отсутствуют. Стандартные методики не позволяют осуществлять многоцикловое усталостное воздействие при определении модуля упругости.

Учитывая длительное время испытаний на базе  $10^8$  циклов нагружения, предварительный отбор металлических материалов производился на основе измерения микропластических деформаций [2]. Таким образом, для исследования была выбрана высоколегированная

мартенситостареющая сталь H18K9M5T. Режимы термообработки сталей представлены в табл. 1. Выбор температур и условий закалки производился по режимам, рекомендованным заводом — изготовителем. Температура последующего старения изменялась с целью выяснения оптимальных соотношений между усталостными свойствами материала и стабильностью упругих свойств.

**Таблица 1.**

**Режимы термообработки**

<b>Закалка</b>	<b>Старение, °С</b>	<b>Время выдержки, ч</b>
820 °С,	500	3
время выдержки 1 ч,	525	3
вода	550	3
	350+510	1+3

О стабильности упругих свойств материала можно судить по стабильности частоты собственных колебаний образца, являющегося упругим элементом в специализированной установке [3]. Установка состоит из трех основных элементов: станины, служащей для крепления испытываемого образца и электромагнитного силового возбудителя; блока питания и автоматики, предназначенного для питания электромагнитного силового возбудителя током необходимой частоты и величины; блока измерения параметров колебательного процесса, позволяющего определять частоту колебаний и число циклов нагружения. Испытываемый образец жестко крепится одним концом в станине, другим к ферромагнитному якорю. Статор электромагнитного возбудителя жестко крепится к станине через виброизоляционные прокладки. Станина воспринимает колебания образца и передает их пьезоэлектрическому датчику. Сигнал с датчика поступает в блок управления, который вырабатывает импульсы тока для питания катушки электромагнитного возбудителя с частотой, равной частоте собственных колебаний образца. Блок управления содержит усилитель-преобразователь, резонансный тиристорный инвертор, формирователь импульсов управления тиристорами, стабилизатор амплитуды колебаний образца.

Ввиду того, что внешняя сила несинусоидальна, а также вследствие зависимости этой силы от положения образца, форма движения образца отличается от синусоидальной, и амплитуда колебаний при движении вниз будет больше, чем при движении вверх. Однако анализ формы движения образца показал, что при скажности тока  $q \geq 2$  содержание постоянной составляющей и высших гармоник в кривой  $x(t)$  не

превышают 1 %, то есть форма колебаний образца практически является синусоидальной.

Максимальное напряжение цикла нагружения в расчетном сечении рассчитывается по измеряемой амплитуде колебаний образца. При установлении расчетной зависимости предполагалось, что в динамическом режиме действующие на образец силы создадут такие же максимальные напряжения и перемещения, как и статическая сила, равная по величине результирующей динамической.

При изменении упругих свойств материала под действием длительной знакопеременной нагрузки происходит изменение частоты собственных колебаний образца, по которому можно судить о стабильности упругих свойств.

Известно [1], что квадрат частоты собственных колебаний образца определяется соотношением:

$$f^2 = kE, \quad (1)$$

где:  $k$  — коэффициент, зависящий от номера гармоники, условий закрепления концов образца, плотности и линейных размеров образца. Считая  $k$  постоянным для данного образца и зная относительное изменение частоты собственных колебаний, можно определить  $\delta_E$  — дефект модуля упругости (относительное изменение модуля  $E$ ).

Разложив соотношение (1) в ряд и ограничившись членами первого порядка малости, можно получить

$$\delta_E = \frac{\Delta E}{E_0} = 2 \frac{\Delta f}{f_0}, \quad (2)$$

где  $E_0$ ,  $f_0$  и  $\Delta E$ ,  $\Delta f$  — модуль Юнга, частота собственных колебаний в начале испытаний и их абсолютные изменения.

Так как частота колебаний образцов составляет ~200 Гц, а изменение ее определяется с абсолютной погрешностью 0,01 Гц, то относительная погрешность в определении  $\delta_E$  будет равна ~10 % при абсолютном изменении частоты колебаний на 0,1 Гц. При увеличении  $\Delta f$  эта погрешность уменьшается.

Наибольшее значение предела усталости для стали Н18К9М5Т, равное 700 МПа, было получено при температуре старения 550°С. При более низкой температуре старения пределы усталости имеют меньшее значение: 650 МПа (525°С); 480 МПа (500°С) и 550 МПа (350°+510°С).

Для стали Н18К9М5Т при повышении температуры старения от 500 до 550°С наблюдалось уменьшение дефекта модуля нормальной упругости. Так, для образцов, имевших температуру старения 500°С,

максимальное значение  $\delta_E$  составило 2,8 %, а для образцов с температурой старения 550°C — 1 %.

Сталь Н18К9М5Т относится к мартенситостареющим. Как известно, в закаленном состоянии структура мартенситостареющих сталей представляет собой мартенсит и остаточный аустенит. При нагреве закаленной стали, начиная с некоторых температур, происходит выделение из мартенсита дисперсных включений интерметаллидов и карбидов, что обуславливает ее упрочнение. При более высоких температурах начинается обратное превращение  $\alpha$ - $\gamma$  [4].

Электронно-микроскопические исследования тонких фольг «на просвет» показали, что сталь Н18К9М5Т после закалки и старения при температуре 550°C имеет разориентированную субзеренную структуру. Наблюдается весьма дисперсная (~0,04 мкм) равномерно распределенная в матрице фаза  $(\text{FeNiCO})_2\text{Mo}$ , имеющая нечеткие очертания.

Таким образом, установлено, что при многоцикловом нагружении стали Н18К9М5Т при повышении температуры старения до 550°C наблюдается уменьшение дефекта модуля упругости. В структуре стали, соответствующей наиболее упрочненному состоянию, присутствуют мелкодисперсные частицы, являющиеся эффективными препятствиями для движения дислокаций.

### Список литературы:

1. Вибрации в технике Т.1/Под ред. В. В. Болотина. М.: Машиностроение, 1976 — 352 с.
2. Мадянов С. А. Использование метода релаксации напряжений для исследования фазовых и структурных превращений в сплавах // Взаимодействие дефектов кристаллической решетки и свойства металлов: Межвуз. сб. / Тульск. политехн. ин-т. Тула. 1984. С. 32—38.
3. Невский С. Е., Горохов А. Ю., Шадринова С. К. Установка для определения стабильности упругих свойств и внутреннего трения образцов при многоцикловом нагружении // Химическая промышленность: современные задачи техники, технологии, автоматизация экономики: Тез. докл. межрегиональной научно-техн. конф. / Н. Новгород: НГТУ, 1999. С. 86.
4. Фазовый состав мартенситостареющих сталей на основе композиции 00Н18К9М5 / В. В. Спиридонов, А. Н. Кузьминская, О. Д. Марковеч и др. // Физика металлов и металловедение. 1974. № 4. С. 850—856.

## ОСОБЕННОСТИ ОКУСКОВАНИЯ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

**Корнев Антон Владимирович**

*аспирант, СПГТУ, г. Санкт-Петербург*

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

**Кусков Вадим Борисович**

*канд. техн. наук, доцент, СПГТУ, г. Санкт-Петербург*

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

Как известно, при глубоком обогащении бедных железных руд получают тонкоизмельченные концентраты, содержащие, как правило, 80—90 % частиц размером менее 0,06 мм. Такие концентраты непригодны для непосредственной плавки и требуют специальной подготовки — окускования [1]. Операция окускования также позволяет рационально использовать естественные пылевые руды и отходы производств, такие как уловленные шламы и пыли металлургических агрегатов, колошниковую пыль доменных печей и окалину прокатных цехов и др. [2].

В металлургии используют три способа окускования: агломерацию, окомкование и брикетирование.

При агломерации происходит спекание мелкого железорудного сырья с добавляемым в агломерируемую шихту топливом. При этом образуется кусковой пористый продукт, имеющий сравнительно невысокую прочность. Он не выдерживает многократные перегрузки, дальние перевозки и длительное хранение. Поэтому агломерационные фабрики строятся как можно ближе к металлургическим заводам. Агломашины, на которых происходит процесс спекания, являются довольно сложными и громоздкими, требуют значительных капитальных затрат.

Окомкование широко применяется для окускования тонкоизмельченных концентратов. При этом серьезные трудности связаны с необходимостью сохранять влажность исходной шихты в весьма узком диапазоне ( $\pm 0,2$ ) и с резким ухудшением качества окатышей даже при небольших ее колебаниях. Жесткие требования предъявляются также к гранулометрическому составу шихты. Удельная поверхность компонентов шихты должна быть не менее примерно  $1200\text{—}1900\text{ см}^2/\text{г}$  при содержании 60—70 % класса минус 0,044 мм или более 90 % класса минус 0,074 мм [1].

Сырые окатыши, как правило, подвергаются упрочняющему обжигу, что усложняет и удорожает процесс их производства и нежелательно для дальнейших процессов восстановления.

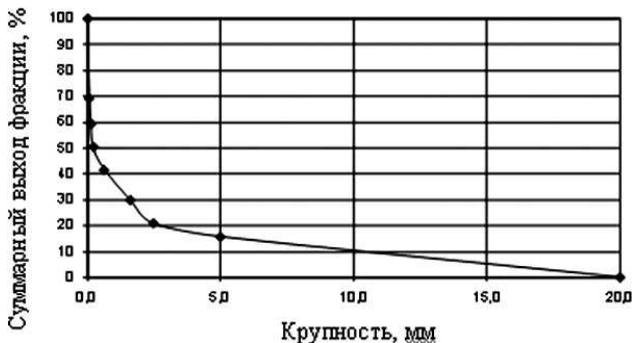
Основными особенностями окучкования мелких богатых железных руд с низким содержанием вредных примесей являются:

- отсутствие необходимости в тонком измельчении всего исходного материала (как, например, при окомковании);
- отсутствие достаточно высоких расходов энергоресурсов на процесс спекания (как при агломерации) или обжиге (как при окомковании).

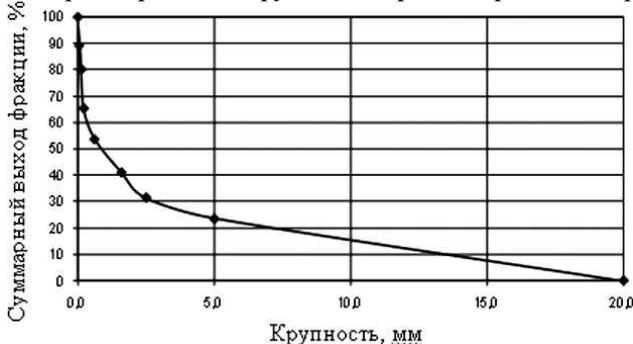
В связи с этим, указанный тип руд, целесообразно окучковывать путем «холодного» брикетирования.

Примером таких руд являются богатые железные руды Яковлевского месторождения. На данном месторождении в основном преобладают два типа руд: мармитовые и гидрогематитовые.

Изучение гранулометрического состава дробленной до 20 мм руды показало высокое содержание мелких классов. Данные ситового анализа проб мармитовой и гидрогематитовой руд представлены на рисунках 1 и 2.



*Рис. 1. Характеристика крупности пробы мармитовой руды*



*Рис. 2. Характеристика крупности пробы гидрогематитовой руды*

Из графиков видно, что количество класса  $-5+0$  мм в обоих типах рассматриваемых руд превышает 75 %. Следовательно, для непосредственного использования в металлургическом переделе, их необходимо обязательно подвергать окускованию.

В результате проведения химического анализа удалось выявить неравномерное распределение железа по классам крупности. Данные исследования представлены в таблице 1.

*Таблица 1*

**Распределение железа по классам крупности**

Класс крупности, мм	Для маргитовой руды		Для гидрогематитовой руды	
	Выход, %	Содержание железа общего, %	Выход, %	Содержание железа общего, %
+20	0,0	—	0,0	—
-20+5	15,5	53,67	23,6	48,16
-5+2,5	5,3	60,98	7,9	49,52
-2,5+1,6	9,0	62,69	9,6	52,90
-1,6+0,63	11,7	62,97	12,5	56,64
-0,63+0,25	8,7	65,03	11,8	58,08
-0,25+0,14	9,3	66,67	14,9	58,83
-0,14+0,071	9,8	68,47	9,1	59,98
-0,071	30,7	69,21	10,6	61,78
Итого:	100,0	64,38	100,0	55,06

Из представленных данных очевидно, что чем меньше крупность руды, тем выше содержание железа. При этом в маргитовой руде  $\beta_{Fe}(-5 \text{ мм}) = 66,34 \%$ ,  $\gamma(-5 \text{ мм}) = 84,5 \%$ , в гидрогематитовой —  $\beta_{Fe}(-5 \text{ мм}) = 57,19 \%$ ,  $\gamma(-5 \text{ мм}) = 76,4 \%$ . В связи с этим для окускования целесообразно использовать именно этот класс крупности.

В результате исследований по изучению влияния гранулометрического состава используемой для брикетирования шихты на прочность изготавливаемых брикетов наилучшие результаты были получены при использовании класса  $-5+0$  мм.

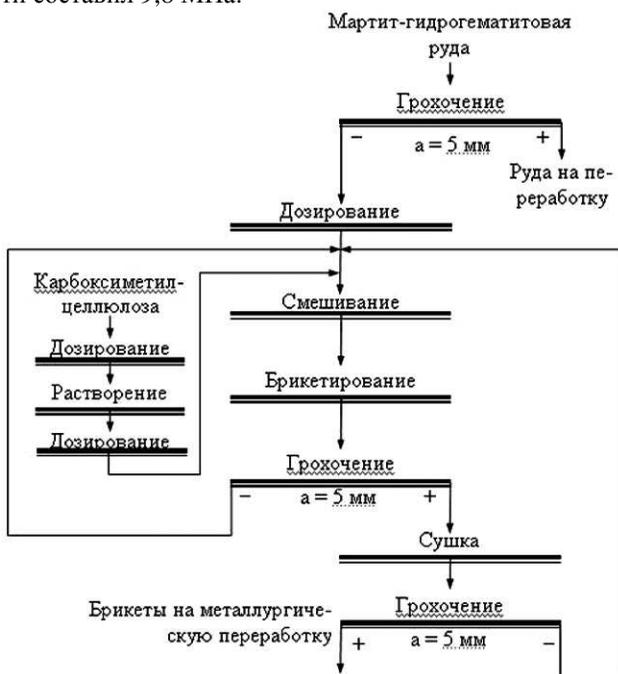
Поэтому еще одной особенностью окускования мелких богатых железных руд можно считать наличие в технологической схеме операции предварительного грохочения руды по классу 5 мм. Надрешетный продукт может быть использован как компонент доменной шихты для металлургического передела, а подрешетный продукт пойдет на брикетирование.

Исследования по изучению зависимости между соотношением типов руд в шихте и прочностью получаемых брикетов показали, что

для брикетирования целесообразно использовать смесь 85 % маритовой и 15 % гидрогематитовой руд. Добавление в шихту более 15 % гидрогематитовой руды способствует повышению прочности получаемых брикетов, но в то же время приводит к значительному снижению содержания в них железа. Использование менее 15 % «красной» руды ухудшает физико-механические свойства производимых брикетов.

В результате проведенных исследований была разработана принципиальная схема окускования богатой мартит-гидрогематитовой руды методом «холодного» брикетирования, представленная на рисунке 3.

В качестве связующего использовался 2,5 % раствор карбоксиметилцеллюлозы [3]. Давление прессования варьировалось от 20 до 80 МПа. Сушка сырых брикетов проводилась при  $t=105\pm 5$  °С. При давлении прессования 40 МПа брикеты имеют прочность, достаточную для использования их в металлургическом переделе — 7,6 МПа. При повышении давления прессования до 80 МПа средний предел прочности составил 9,8 МПа.



**Рис. 3. Технологическая схема брикетирования богатой железной руды**

Таким образом, окускование мартит-гидрогематитовой руды с высоким содержанием железа путем брикетирования с использованием небольшого количества карбоксиметилцеллюлозы в качестве связующего позволяет получить железорудные брикеты с высокими физико-механическими свойствами.

### **Список литературы:**

1. Равич Б. М. Брикетирование руд. М., Недра, 1982 — 183 с.
2. Справочник по обогащению руд. Специальные и вспомогательные процессы, испытания обогатимости, контроль и автоматика / Под ред. О. С. Богданова, В. И. Ревнивцева, 2-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1983 — 376 с.
3. Способ подготовки шихтового материала к металлургической переработке. Заявка на получение патента № 2011118712 от 10.05.2011.

## **ИЗМЕНЕНИЕ ИСХОДНОЙ СТРУКТУРЫ КОТЛОВОЙ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

***Мазура Анастасия Николаевна***  
*магистр, ВолгГТУ, г. Волгоград*  
*E-mail: [mazura\\_anastasii@mail.ru](mailto:mazura_anastasii@mail.ru)*

***Гевлич Сергей Олегович***  
*канд. тех. наук, технический директор, ООО «Экспертиза»,*  
*г. Волгоград*  
*E-mail: [sgevlich@mail.ru](mailto:sgevlich@mail.ru)*

***Пегешева Светлана Алексеевна***  
*канд. тех. наук, доцент ВолгГТУ, г. Волгоград*  
*E-mail: [tecmat@vstu.ru](mailto:tecmat@vstu.ru)*

Согласно федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116 — ФЗ от 21.07.1997 г. [1] технические устройства, применяемые на опасном производственном объекте, в процессе эксплуатации подлежат экспертизе промышленной безопасности в установленном порядке. При этом нормативными документами полагается выполнение ряда операций неразрушающего и разрушающего контроля, которые должны позволить оценить пара-

метры технического состояния объекта экспертизы и принять решение о его возможной дальнейшей эксплуатации.

Таким образом, одним из основных объектов экспертизы являются паровые и водогрейные котлы. В настоящей работе объектом стал паровой котел, эксплуатирующийся с 1954 года на одном из заводов региона.

Стандартная программа неразрушающего контроля парового котла включает визуальный осмотр, измерение геометрических параметров элементов котла, ультразвуковую толщинометрию, ультразвуковую и цветную дефектоскопию, определение твердости основного металла и металла швов как способ экспресс-анализа механических свойств металла. Этого набора, как правило, достаточно для решения вопроса о возможности дальнейшей эксплуатации. Однако, в рассматриваемом случае, необходимо было дополнить этот набор исследованиями структуры металла.

Целью настоящей работы является исследование структурного состояния барабана котла отработавшего более 40 лет при температуре 200°C

В рамках штатной экспертизы были выполнены:

- ультразвуковая толщинометрия опорных металлоконструкций, выполненная в соответствии с РД 10-210-98 «Методические указания по проведению технического освидетельствования металлоконструкций паровых и водогрейных котлов» [3], с применением ультразвукового толщиномера марки «ВЗЛЕТ-УТ», зав. № 502243 с преобразователем П112-5,0-12/2-Б-001.

- измерения овальности барабана путем измерения диаметров барабана котла. Замеры проводились в нескольких сечениях. В каждом сечении было выполнено по четыре измерения. Измерения диаметров выполнено лазерным дальномером типа Leica DISTO A5 № 1080221043.

- ультразвуковая толщинометрия основных элементов котла, которая проводилась в соответствии с ПБ 10-574-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов» [2] и РД 34.17.435-95 «Методические указания о техническом диагностировании котлов с рабочим давлением до 4,0 МПа» [4]. Использовался ультразвуковой толщиномер марки «ВЗЛЕТ УТ», зав. № 502243 с преобразователем П112-5,0-12/2-Б-001.

- замеры твердости металла элементов котла переносными твердомерами типа «ГЕМП».

- ультразвуковая дефектоскопия основного металла и сварных швов барабана дефектоскопом типа «Пеленг» в соответствии с ПБ 10-574-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов» [2] и РД 34.17.435-95 «Методические указания. Техническое диагностирование котлов с рабочим давлением до 4,0 МПа включительно» [4].

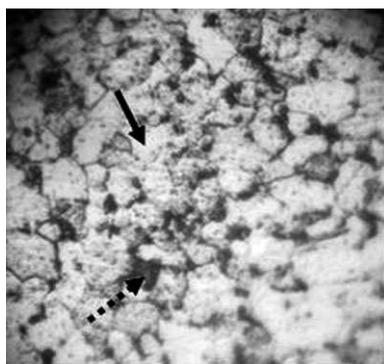
Дополнительно, исследовали структуру элементов котла путем металлографического анализа после травления поверхности 5 % раствором азотной кислоты.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В процессе неразрушающего контроля не выявлено: коррозионных угонений, т. е. толщина стенки соответствует нормативной, не выявлено трещин или подобных несплошностей сварных соединений, осмотр и измерения показали отсутствие деформационных дефектов в элементах котла и металлоконструкциях. Экспресс анализ механических свойств (замеры твердости) показал, что данный параметр незначительно отличается от требования нормативных документов. В целом общее состояние котла удовлетворительное. Таким образом, набор штатных параметров позволяет сделать вывод, об отсутствии видимых повреждений, влияющих на ресурс. Вместе с тем, кажется весьма вероятным влияние длительной эксплуатации на структурное состояние, прежде всего стали барабана котла. Таким образом, техническое состояние металлоконструкций котла не соответствует требованиям промышленной безопасности.

Учитывая условия и длительность эксплуатации технического устройства были проведены металлографические исследования основных элементов котла.

Исследования структуры стали коллектора и барабана выполняли методом полевой металлографии в поле зрения светового микроскопа при увеличении  $\times 400$ . Оценивали балл зерна феррита по ГОСТ 5639 и состояние перлитной фазы по ГОСТ 5640 методом сравнения со стандартными структурами. Значения приведены в баллах. На рис.1 показаны структуры стали 20К, полученные с внутренней поверхности барабана в зоне границы пар-вода.

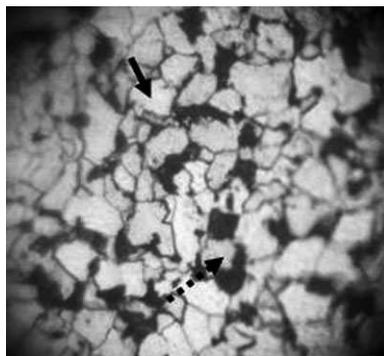


**Рисунок 1. Структура стали барабана котла,  $\times 400$ .  
Структурные составляющие: феррит (сплошная стрелка); перлит (прерывистая стрелка).**

Как видно из рис. 1 феррит имеет выраженную разнорзернистость, что свидетельствует о протекании рекристаллизационного процесса, результатом которого может быть снижение прочности (предела прочности и предела текучести). Наиболее измененной является структура перлита. Фактически это уже не перлит, а карбидная фаза. Видно, что карбиды (в данном случае скорее цементит  $Fe_3C$ ) располагаются по границам ферритных зерен, имеют вид коагулированных частиц размерами до 5 мкм, что согласно ГОСТ 5640 соответствует 4—5 баллу.

Зафиксированное структурное состояние, особенно изменения перлитной фазы, свидетельствуют о полной деградации исходной структуры и фактическом исчерпании ресурса технического устройства, в данном случае барабана котла. Длительная эксплуатация при повышенной температуре (+450°C согласно паспорта) явилась тем фактором, который и привел к изменению первоначальной структуры.

Изменения структуры стали отмечаются и в коллекторе (рис. 2). Отличие настоящей структуры от исходной заключается в изменении морфологии феррита. Имеет место разнорзернистость. Состояние перлитной фазы более соответствует исходной, однако также видны следы коагуляции.



**Рисунок 2. Микроструктура коллектора,  $\times 400$ . Структурные составляющие: феррит (сплошная стрелка); перлит (прерывистая стрелка).**

Делая выводы по металлографическим исследованиям основных элементов котла, можно сказать, что с течением времени, даже при относительно невысоких температурах эксплуатации, установлена сфероидизация перлита, что является, несомненно, отбраковывающим фактором.

### Список литературы:

1. ПБ 10-574-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов»
2. РД 10-210-98 «Методические указания по проведению технического освидетельствования металлоконструкций паровых и водогрейных котлов»
3. РД 34.17.435-95 «Методические указания. Техническое диагностирование котлов с рабочим давлением до 4,0 МПа включительно»
4. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116 - ФЗ

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ

*Муравьев Константин Александрович*

*канд. техн. наук, доцент, Сургутский институт нефти и газа,  
г. Сургут*

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

Приведены результаты исследования кинетики распределения водорода в сварном соединении в зависимости от температурных режимов

**Актуальность темы.** Известно, что в наибольшей степени на работоспособность и надежность сварных корабельных корпусов из низколегированных сталей обычной и повышенной прочности, особенно при эксплуатации в условиях низких температур воздуха (до  $-60^{\circ}\text{C}$ ), оказывают холодные трещины, образующиеся, как правило, в околошовной зоне сварных соединений (ОШЗ). При этом наиболее опасным местом, с точки зрения зарождения холодных трещин, является корневой шов.

При сварке указанных сталей вероятность образования холодных трещин появляется, если скорость охлаждения  $W_{500}^{600} \geq 12$  —  $13^{\circ}\text{C}/\text{с}$  [4, 12], что характерно для ручной сварки покрытыми электродами в условиях низких температур воздуха. При этом холодные трещины наблюдаются, несмотря на отсутствие закалочных структур, в сварных соединениях.

Аварии и остановки корабельного транспорта по причине низкой трещиностойкости сварных соединений приводят не только к потере транспортируемого продукта, но и требуют зачастую крупных мате-

риальных и финансовых затрат на ремонтно-восстановительные работы. Увеличение размеров плавсредств, удлинение трассы их маршрута повышают вероятность трещинообразования и сложность ремонта. Разрушение танкеров часто сопровождается пожарами и взрывами, загрязнением окружающей среды, что оказывает губительное воздействие на животный и растительный мир. Все это свидетельствует о крайней актуальности повышения качества и надежности морских и речных судов.

**Анализ литературы.** О влиянии отрицательных температур воздуха при сварке корпусных судостроительных сталей на увеличение количества образовавшихся трещин известно из литературы и практики [1, 2, 4, 5, 12, 13]. Вероятность образования трещин при этом повышается в связи с увеличением остаточных напряжений и количества растворенного в металле водорода. Повышение стойкости сварных соединений к образованию холодных трещин, вызывающих замедленное разрушение при сварке в условиях низких температур, определяется не только снижением количества неравновесных структур, но и повышением скорости диффузии водорода.

Анализ данных, приведенных в литературе [7—9, 12, 13], свидетельствует, что основными причинами разрушения корпусов плавсредств являются дефекты сварных соединений, влияние низких температур окружающего воздуха, водородное охрупчивание зоны термического влияния (ЗТВ) сварного соединения, а также вибрации корпуса вследствие динамических воздействий. Обобщение причин разрушений корабельных сварных стыков, выполненное в работах [1, 5], позволило выделить главную из них — низкую хладостойкость судостроительных сталей и их сварных соединений в условиях отрицательных температур воздуха.

Для реализации на практике организационно-технических мероприятий повышения надежности сварных соединений корабельных корпусов и других конструкций необходимо знание закономерностей и особенностей изменения трещиностойкости наплавленного и основного металла в зависимости от основных технологических факторов транспорта продукта, для чего требуется проведение дополнительных исследований.

**Постановка и изучение проблематики.** Из анализа литературных данных и результатов собственных исследований следует, что основной причиной низкой трещиностойкости сварных соединений судостроительных корпусных сталей из низколегированных сталей, эксплуатируемых в условиях низких температур окружающей атмосферы (до  $-60^{\circ}\text{C}$ ), является высокое содержание водорода в наплавленном металле и околшовной зоне. Вопросы активности

подвижного водорода и его распределения в разных зонах сварного соединения при воздействии на него минусовых температур изучены недостаточно и получены на различных сварочных и корпусных материалах с использованием разных методов и критериев оценки, поэтому они трудно сопоставимы, порой противоречивы и не всегда подвержены логическому анализу и сравнению. Поэтому требуется проведение дополнительных экспериментов для изучения влияния отрицательных температур на процесс диффузии и перераспределения водорода с течением времени в сварных соединениях монтажных стыков корабельных корпусных конструкций. Учитывая, что экспериментальные методы не позволяют измерить концентрацию водорода в различных зонах сварного соединения, то требуется применение экспериментально-аналитических методов расчета и оценки кинетики диффузии водорода из сварного шва в зону термического влияния (ЗТВ) и его перераспределения с течением времени.

Высказываются различные точки зрения на механизм водородной хрупкости стали и сварных соединений. Однако сам факт, что водород, попадая в металл шва и ЗТВ, вызывает временную хрупкость его и иногда весьма значительную, приводящую к образованию трещин, является общепризнанным. На основании изложенного, основным способом уменьшения водородной хрупкости является снижение уровня диффузионно-подвижного водорода в металле шва различными конструкторско-технологическими способами.

Другим способом уменьшения водородной хрупкости является снижение скорости охлаждения, которое позволяет получить более пластичный и менее склонный к водородной хрупкости металл шва и ЗТВ, а также усиливает эффект удаления водорода из металла в процессе охлаждения.

Третьим способом является повышение температуры сопутствующего подогрева. Так, повышение температуры до 100 — 200 °С существенно снижает водородную хрупкость, вызываемую диффузионным и молекулярным водородом.

Четвертым способом является проведение термической обработки — «отдыха» — сварных соединений корпусных сталей непосредственно после сварки, в процессе которого удаляется диффузионный водород.

Для реализации этих способов на практике необходимо проведение дополнительных экспериментов для изучения поведения водорода в сварных соединениях применительно к конкретным температурным режимам, материалам и технологическим процессам монтажной сварки.

**Целью работы** является исследование кинетики распределения и диффузии водорода в сварных соединениях судостроительных сталей в зависимости от температурных условий окружающей атмосферы.

**Методика и материалы исследований.** В качестве экспериментальных материалов использовали судостроительные корпусные стали 10ХСНД и 15ХСНД, которые наиболее широко используются в кораблестроении. Для определения диффузионного водорода в наплавленном металле, наплавку производили на образцы размером  $80 \times 15 \times 10$  мм, которые затем помещали в эвдиометры с водоглицериновой смесью, а также в эвдиометры со спиртом. Время наплавки образца составляло 30...35 с, а паузы от момента завершения наплавки до помещения образца в эвдиометры — 3...40 с. Наплавку на образцы, а также сварку монтажных стыков производили на открытом воздухе при температурах среды, принятых согласно плана экспериментов. Концентрацию остаточного водорода определяли методом вакуумной экстракции при расплавлении образцов на установке ВН-6 фирмы «Геркус» [7]. Сварку выполняли в нижнем положении постоянным током обратной полярности. Режим сварки поддерживали постоянным ( $I_{св}=180$  А;  $U_{д}=23...24$  В).

В качестве сварочных материалов использовали электроды марок АНО-26 диаметром 4 мм и АНО-ТМ диаметром 3 мм (для сварки корня шва).

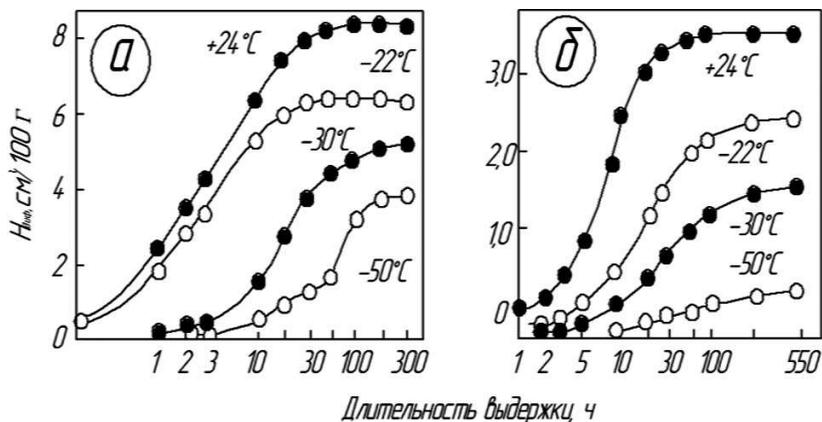
В основу метода расчета концентрации и распределения водорода в сварных соединениях была положена схема количественного расчета диффузионного перераспределения водорода в сварных соединениях, разработанная И. К. Походней и Л. И. Демченко (Институт электросварки им. Е. О. Патона Национальной академии наук Украины) [8, 9], поскольку она хорошо согласуется с экспериментальными данными. С точки зрения математического моделирования, наибольшую сложность представляют учет переменной (в пространстве и времени) растворимости водорода в твердом и жидком металле, наличие локальных дефектов структуры («ловушек» водорода), а также многомерный характер переноса.

Поэтому для упрощения модели в расчетах предполагали следующее:

- а) роль внутренних дефектов структуры в перераспределении водорода и выделения из образца невелика;
- б) влияние времени кристаллизации металла шва на процесс диффузии и перераспределения водорода ничтожно мало;
- в) влиянием неизотермичности температурного поля сварного соединения можно пренебречь.

Определение критерия технологической прочности сварного соединения  $\sigma_{\text{pmin}}$  производили по методике, подробно описанной в работах [2, 3, 6, 10].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Зависимости скорости выделения водорода из наплавленного металла от температуры окружающей среды приведены на рис. 1.



**Рис. 1. Зависимость скорости выделения водорода из наплавленного металла от температуры среды: электроды АНО — 26; а) — глицириновая проба; б) — спиртовая проба.**

Видно, что с понижением температуры образцов на 60 °С скорость диффузии уменьшается в среднем в 30—40 раз, а при температуре — 40—50 °С ( $[H]_{\text{диф}} < 5 \text{ см}^3/100\text{г}$ ) скорость выделения водорода минимальна в течение 20 ч после сварки.

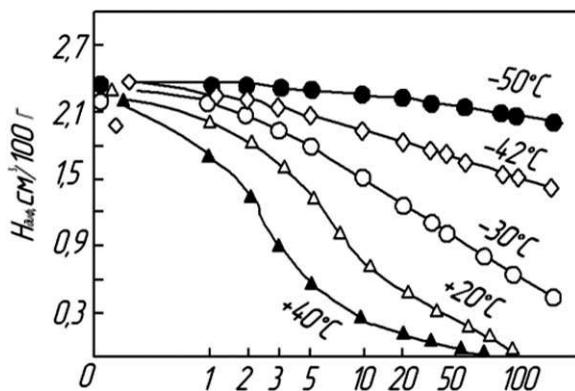
Заметное выделение диффузионного водорода выявлено лишь после выдержки образцов в спиртовых эвдиометрах более 200 ч (рис. 1, б). В целом понижение температуры резко уменьшает количество выделившегося водорода из металла, особенно при сварке низководородистыми электродами с покрытием основного вида. Из рис. 1(б) видно, что из наплавленного электродами АНО-26 металла при температуре +20 °С свободно выделилось около 3 см<sup>3</sup>/100г водорода, при -30 °С — 0,85 см<sup>3</sup>/100г, а при -45 °С — лишь 0,2 см<sup>3</sup>/100г. Перенос эвдиометров с замороженными образцами в помещение с комнатной температурой позволяет получить дополнительно выделившийся водород из наплавленного металла (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние температуры среды на содержание водорода  
(в см<sup>3</sup>/100г) в сварном шве**

Марка электрода	Температура прокали, °С	Температура среды, °С	[Н] <sub>диф</sub>	[Н] <sub>ост</sub>	[Н] <sub>сум</sub>
УОНИ-1355	400	+40	4,4	2,0	6,4
	400	-40	2,7	3,9	6,6
	200	+20	6,5	2,8	9,3
	200	-40	5,2	4,3	9,5
АНО-ТМ	400	+20	2,8	1,0	3,8
	400	-30	0,9	2,7	3,6
	400	-50	0,2	3,8	4,0
	200	+20	5,0	1,0	6,0
	200	-30	3,5	3,4	6,9
	200	-50	1,6	5,2	6,8

Скорость диффузии водорода  $[H]_{диф}$  зависит от температуры среды. Выдержка образцов при температуре +40 °С (рис. 2) понижает содержание водорода в шве с 2,2 до 0,5 см<sup>3</sup>/100 г за 4 ч, при комнатной температуре — за 20 ч, а при -50 °С водород практически не выделяется.



**Рис. 2. Влияние температуры и длительности выдержки на содержание диффузионного водорода в сварных соединениях: электроды АНО — 26; спиртовая проба.**

Для анализа роли водорода в образовании холодных трещин в ОШЗ очень важно знать его перераспределение в сварных соединениях с течением времени. Однако применяемые экспериментальные методы не позволяют в полной мере судить о его диффузионном распреде-

лении в различных зонах соединения при сварке и после ее окончания. Поэтому в данной работе расчет перераспределения диффузионного водорода производили по формулам [4, 12] в трех временных интервалах изменения температуры, в которых коэффициенты диффузии  $D_H$  принимали кусочно-постоянными  $t_{пл}^0 \leq t_1 \leq t_{300}^0$ ;  $t_{300}^0 \leq t_2 \leq t_{100}^0$ ;  $t_3$  — при температуре окружающего воздуха. Их значения приведены в табл. 2. Временные интервалы варьировались в зависимости от температуры среды и предварительного нагрева.

Таблица 2

Эффективные коэффициенты диффузии,  $см^2/с$

В интервале температур, $^{\circ}C$	$D_{шва}, D_{ом}$	$D_{зтв}$
+40	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$1.9 \cdot 10^{-5}$
+30	$2.2 \cdot 10^{-5}$	$1.9 \cdot 10^{-6}$
+20	$1.2 \cdot 10^{-6}$	$3.6 \cdot 10^{-7}$
-35	$2.2 \cdot 10^{-7}$	$3.6 \cdot 10^{-8}$

Как показано в работе [13], содержание водорода в металле шва контролируется скоростью охлаждения в интервале  $300 - 100^{\circ}C$ . Конфигурация шва воспроизводилась с помощью переменной координаты линии сплавления по высоте сечения. На рис. 3 и 4 представлены результаты распределения водорода в сварном соединении.

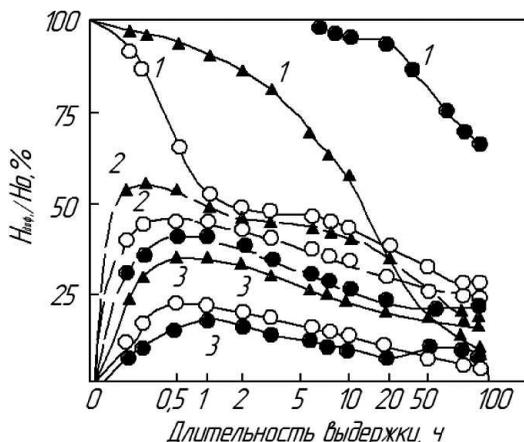
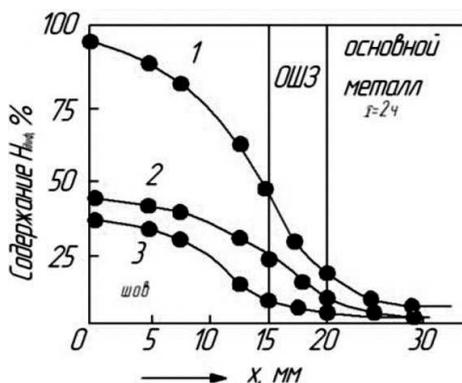


Рис.3. Кинетика перераспределения водорода в V-образном сварном соединении:

1 — центр шва; 2 — зона линии сплавления;

3 — зона термического влияния;

▲ —  $T_{ср} = +22^{\circ}C$ ; ● —  $T_{ср} = -40^{\circ}C$ ; ○ —  $T_{ср} = -40^{\circ}C$  и  $T_{под} = 200^{\circ}C$ .



**Рис. 4. Влияние подогрева на распределение водорода в сварном соединении:**

1 —  $T_{под}=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 2 —  $T_{под}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 3 —  $T_{под}=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

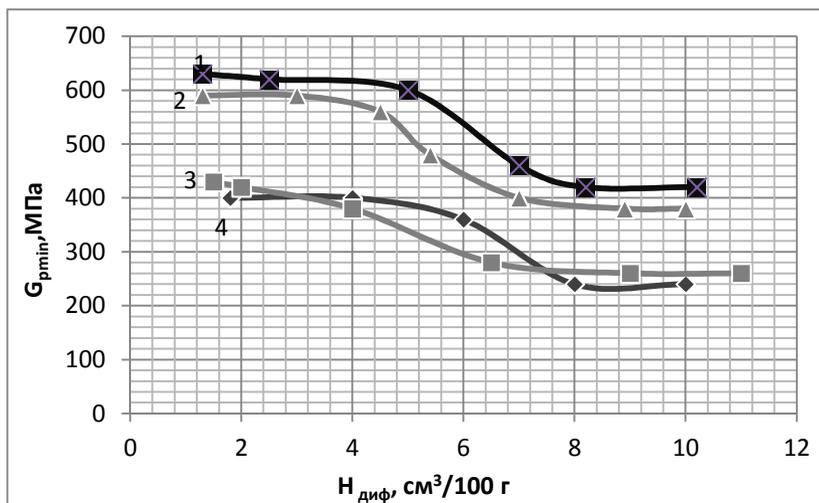
Предварительный подогрев до  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  способствует резкому снижению содержания водорода в центре шва — до 20 % начального содержания в течение 30 мин, причем в ЗТВ содержание водорода не превышает 20 % [Н] (рис. 3).

С понижением температуры среды до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  существенно замедляется скорость десорбции водорода в окружающую атмосферу. Так, уменьшение содержания водорода в центре шва в 2 раза происходит при комнатной температуре за 2 — 3 ч, а при  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  — за 12—15 ч. Максимальное содержание водорода в ЗТВ при температуре  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  достигается за 1—3 ч, а при низких температурах — за 20—40 ч с сохранением этого условия длительное время. Также следует отметить, что предварительный подогрев приводит к резкому снижению уровня водорода в первые 30 мин после окончания сварки. Поэтому после окончания десорбции водорода из шва, наряду с предварительным подогревом, желателен и послесварочный нагрев соединения, особенно при отрицательных температурах воздуха.

Следовательно, в зависимости от технологической прочности сталей и на основании расчетной модели диффузионного перераспределения водорода в монтажных соединениях после окончания сварки можно научно обосновать оптимальный режим предварительного подогрева и конструкторско-технологические приемы уменьшения скорости охлаждения стыка с учетом оптимизации режимов сварки, формы разделки кромок, правильного выбора сварочных материалов, прокалки электродов, ограничения времени между наложением проходов при многослойной сварке.

Из литературных данных следует, что до сих пор отсутствует количественная связь между склонностью сварного соединения к образованию трещин с действительной концентрацией в нем водорода. Известно, что наиболее существенное влияние на трещиностойкость сталей оказывает диффузионный водород при образовании в сварном шве или ОШЗ смешанной перлитно-мартенситной, бейнитно-мартенситной структур и структуры нижнего бейнита [11]. Авторы [11, 12] обнаружили снижение сопротивления сталей 15ХСНД, 17Г1С, 10Г2С1, 10ХСНД холодным трещинам на 20—40 % при сварке в условиях отрицательных температур воздуха. Стали 14Г2САФ и 14Г2МР характеризуются низкой технологической прочностью, причем их трещиностойкость снижается на 10—20 % с понижением температуры.

Установлено [11], что наибольшее понижение трещиностойкости судостроительных сталей наблюдается в интервале от  $-20$  до  $-40$  °С, в котором отрицательное влияние водорода на замедленное разрушение сварных соединений проявляется в большей степени. Как показывают результаты собственных исследований, уменьшение содержания водорода в шве от 8 до  $1 \text{ см}^3/100\text{г}$  повышает сопротивляемость сталей 10ХСНД и 15ХСНД холодным трещинам примерно в 2—2,5 раза (рис. 5).



**Рис. 5. Зависимость технологической прочности сварных соединений от содержания водорода в наплавленном металле: Опытные электроды АНО — 26; 2 — 15ХСНД; 3 — сталь 20; 4 — сталь 10.**

При уменьшении количества водорода в наплавленном металле до уровня  $5 \text{ см}^3/100\text{г}$  и ниже сопротивляемость этих сталей холодным трещинам  $\sigma_{\text{pmin}}$  возрастает на 50 — 60 %.

Таким образом, полученные результаты позволили сделать следующие **выводы**:

1. С понижением температуры образцов на  $60^\circ\text{C}$  скорость диффузии водорода уменьшается в 30—40 раз, а при температуре  $-40\dots -50^\circ\text{C}$  скорость выделения водорода из наплавленного металла минимальна в течение 20 ч после сварки. Так, при температуре  $+40^\circ\text{C}$  содержание водорода в шве после сварки понижается с 2.2 до  $0.5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$  за 4 ч, при комнатной температуре — за 20 ч, а при  $-50^\circ\text{C}$  водород практически не выделяется.

2. Отработана технология применения математической модели расчета процесса диффузии и перераспределения водорода в сварном соединении с учетом термического цикла сварки, которая позволяет научно обосновать оптимальные режимы предварительного подогрева и конструкторско-технологические приемы снижения скорости охлаждения монтажных стыков корпусных судостроительных сталей.

### **Список литературы:**

1. Галиченко Е. Н. Технологические методы обеспечения трещиностойкости промысловых трубопроводов нефтяных месторождений.— Челябинск: Изд. ЦНТИ. — 2002. — 252 с.
2. Козлов Р. А. Водород при сварке корпусных сталей. — Л.: Судостроение, 1975. — 212 с.
3. Козлов Р. А. Методика определения водородной хрупкости наплавленного металла // Сварка. — Л.: Судпромгиз, 1960. — С. 21 — 29.
4. Ларионов В. П., Слепцов О. И. Природа образования холодных трещин и обеспечение технологической прочности сварных соединений при низких температурах. — Якутск: Изд. ЯФ АН СССР, 1983. — С. 40 — 68.
5. Макаренко В. Д. Надежность нефтегазопромысловых систем. — Челябинск: Изд. ЦНТИ. — 2006. — 826 с.
6. Мороз Л. С., Чечулин Б. Б. Водородная хрупкость металлов. — М.: Металлургия. — 1967. — 225 с.
7. Пальцевич А. П. Хроматографический метод определения количества диффузионного водорода в сварных швах. — В кн.: Третья Всесоюз. конф. по сварочным материалам. — Киев: Наукова думка. — 1982. — С. 24—27.
8. Походня И. К., Демченко В. Ф., Демченко А. И. Математическое моделирование поведения газов в сварных швах. — Киев: Наукова думка. — 1979. — 56 с.

9. Походня И. К. Кинетика диффузионного перераспределения водорода между металлом шва и основным металлом // Автоматическая сварка. — 1976. — № 5. — С. 3 — 12.
10. Романив О. Н., Ярема С. Я., Никифорчин Г. Н. и др. Усталостная и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов // Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие в 4-х т. Под ред. В. В. Панасюка, Т. 4. — Киев: Наукова думка, 1990.
11. Слепцов О. И. Влияние низкой температуры при сварке на образование холодных трещин в низколегированных трубных сталях // Бюл. НТИ. — Якутск, 1979. — С. 25 — 26.
12. Слепцов О. И., Тухолонов К. Н. Влияние отрицательных температур при сварке на содержание диффузионного водорода в наплавленном металле // Хрупкое разрушение металлов при низких температурах. — Якутск: Изд. ЯФ СО АН СССР, 1976. — С. 74 — 80.
13. Тарлинский В. Д. Влияние водорода на характеристики механических свойств конструкционных низколегированных сталей и сварных соединений // Устойчивость против коррозионного растрескивания сварных соединений трубопроводов и роль водорода при электродуговой сварке. — М: ВНИИСТ, 1969. — С. 91 — 123.

## СЕКЦИЯ 8.

### ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

#### ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОБАВОК И ИНИЦИАТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ВИСБРЕКИНГА

*Ахмадова Хава Хамидовна*

*канд. техн. наук, доцент, профессор, ГГНТУ, г. Грозный*

*E-mail: [hava9550@mail.ru](mailto:hava9550@mail.ru)*

*Кадиев Хусейн Магомедович*

*канд. техн. наук, ген. директор, ЗАО «ГрозНИИ», г. Грозный*

*E-mail: [kadiev@ips.ac.ru](mailto:kadiev@ips.ac.ru)*

*Сыркин Алик Михайлович*

*профессор, канд. хим. наук, профессор, УГНТУ, г. Уфа*

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

Среди термических процессов в последние годы особое внимание нефтепереработчиков привлекает процесс висбрекинга, характеризующийся низкими, по сравнению с другими термическими процессами, капитальными и эксплуатационными затратами и обеспечивающий при этом значительное увеличение эффективности переработки нефти.

В 80-е годы в России по аналогии с ведущими зарубежными фирмами начался возврат к легкому термическому крекингу — висбрекингу, процессу, предназначенному для превращения гудрона в котельное топливо с низкими вязкостью и температурой застывания.

Установками висбрекинга в России владеют такие крупные российские нефтяные компании: Лукойл, ТНК — ВР, Роснефть, Башнефтехим, Газпромнефть, МНТК, Славнефть, ТАИФ-НК, ОАО Салаватнефтеоргсинтез [3, 4].

В перспективе намечается строительство установок висбрекинга на НПЗ в Кириши и Перми.

На сегодняшний день в отечественной нефтепереработке успешно реализованы основные варианты процесса — печной и с выносной реакционной камерой.

Значительный вклад в развитие процесса висбрекинга вносит ЗАО ГрозНИИ, по технологиям которого построены первые промыш-

ленные установки висбрекинга в СССР на Омском, Павлодарском, Мажекяйском НПЗ, а также за рубежом — на Бургаском НХК, и проведены реконструкции на отечественных НПЗ многих бездействующих установок термического крекинга, атмосферной перегонки и других установок на процесс висбрекинга [1].

В последние годы в России разработкой и внедрением новой технологии глубокого висбрекинга с выносной реакционной камерой с восходящим потоком сырья занимается ОАО «Институт нефтехимпереработки РБ» [2].

Технология института обеспечивает: длительность непрерывного пробега не менее 1 года; глубокую конверсию тяжелой части исходного сырья; большой выход средних дистиллятов и меньший выход газа и бензина; высокую удельную производительность оборудования; низкую вязкость остатка.

Этот процесс позволяет повысить глубину переработки нефти как за счет отказа от разбавителей при компаундировании котельного топлива, так и за счет получения, наряду с товарным котельным топливом, дополнительных газойлевых фракций — компонентов судовых и печных топлив с низкой температурой застывания.

Реализация процесса висбрекинга с выносной реакционной камерой с восходящим потоком и с вакуумной колонной (глубокий висбрекинг) открывает еще более широкие возможности для углубления переработки нефти при включении его в схему НПЗ топливного профиля.

При включении в схему переработки нефти процесса висбрекинга экономятся газойлевые фракции, так как висбрекинг гудрона позволяет получить тяжелый компонент товарного мазута (гудрон) более низкой вязкости и, как следствие, дополнительные объемы вакуумного газойля.

Таким образом, процесс висбрекинга косвенно способствует увеличению глубины переработки нефти на НПЗ, значительно сокращая выпуск мазута и увеличивая производство вакуумного газойля.

В результате висбрекинга гудрона снижается его вязкость, что уменьшает расход разбавителя для приготовления котельного топлива на 20—25 % масс. и, тем самым, увеличиваются ресурсы дистиллятного сырья для каталитических процессов.

ЗАО «ГрозНИИ» проводится большой комплекс научно-исследовательских работ по усовершенствованию технологии этого процесса с разработкой технологии иницированного висбрекинга.

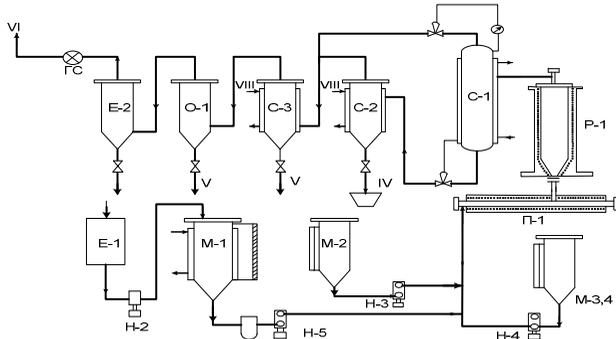
Выполненные ГрозНИИ исследования показали, что при висбрекинге чистого гудрона вязкость его снижается в 9—13 раз при удовлетворительной стабильности получаемого остатка висбрекинга. Применение ароматизированных добавок обеспечивает снижение вязкости сырья в 20—30 раз с получением стабильного продукта.

Однако с утяжелением сырья возрастает его вязкость, усложняя задачи висбрекинга, поскольку возникает необходимость в снижении вязкости почти в 200 раз при сохранении стабильности остатка висбрекинга. Для решения этой проблемы ГрозНИИ проведены исследования с целью разработки специальных технологических приемов, позволяющих существенно повысить степень снижения вязкости без увеличения выхода побочных продуктов.

Опыты по исследованию процесса висбрекинга проводили на непрерывно действующей пилотной установке проточного типа, принципиальная технологическая схема которой приведена на рисунке 1.

Для предотвращения быстрого закоксовывания нагревательно-реакционных устройств проведение опытов осуществляли с вовлечением в сырье активирующей добавки (тяжелого газойля каталитического крекинга) в количестве 4,6—5,0 % мас и турбулизатора — бензиновой фракции висбрекинга (пределы выкипания 62—160<sup>0</sup>С, плотность при 20<sup>0</sup>С 764 кг/м<sup>3</sup>, йодное число 72 г йода на 100 г, содержание серы 0,7 % мас.). Регулирование расчетного времени реакции осуществляется путем подачи в реакционную зону водяного пара (конденсата).

Бензин — турбулизатор вводили в количестве 2,0 % мас по сравнению 10—16 %, рекомендованным в [5, 6] на основании исследования по максимальному снижению коксоотложения в нагревательно-реакционной системе и подавлению реакции бензинообразования.



**Рисунок 1-Принципиальная технологическая схема пилотной установки висбрекинга**

*E-1 — емкость для сырья; H-2,5 — насосы; H-3,4 — дозаторы для подачи инициаторов и турбулизаторов; П-1 — нагреватель; Р-1 — реактор; С-1 — сепаратор высокого давления; С-2,3 — газосепараторы низкого давления; О-1 каплеотбойник; Е-2 — емкость для защелачивания газа от сернистых соединений; ГС — газовый счетчик*

Результаты проведенных опытов показали, что введение небольших количеств бензина резко снижает вязкость смеси: наиболее интенсивное снижение вязкости наблюдается при увеличении концентрации бензина в смеси до 2,0 % мас. (от 520<sup>0</sup>ВУ при 80<sup>0</sup>С до 200<sup>0</sup>ВУ). При дальнейшем увеличении количества бензина до 5,0 % мас. вязкость сырьевой смеси снижается незначительно до 140<sup>0</sup>ВУ.

Степень стабильности в зависимости от количества бензина изменяется экстремально: до концентрации бензина в смеси 2,0 % мас. Наблюдается повышение степени стабильности, а дальнейшее повышение количества добавляемого бензина приводит к снижению степени стабильности.

Влияние бензина можно объяснить следующим образом. Низкомолекулярные компоненты бензиновой фракции резко снижают вязкость дисперсионной среды, растворяют и размывают сольватный слой, частицы дисперсной фазы, асфальтены приобретают большую подвижность и способность агрегироваться. При определенной концентрации бензина начинается процесс слияния и укрупнения ядер сложных структурных единиц, т. е. процесс коагуляции.

Активное состояние сырья характеризуется минимальной вязкостью и оптимальным соотношением компонентов дисперсионной среды и дисперсной фазы, обеспечивающим метастабильное состояние системы до начала процесса коагуляции. Это состояние достигается количеством вводимых добавок до 2,0 % мас. бензина висбрекинга и 4,5 % мас. тяжелого газойля каталитического крекинга.

Следует отметить, что в активном состоянии сырьевая смесь характеризуется достаточно низкой вязкостью: исходный гудрон имел вязкость 913<sup>0</sup>ВУ при 80<sup>0</sup>С, а активированное оптимальным количеством добавок сырье имело вязкость меньше более чем в 8 раз.

Известно, что термический крекинг протекает по радикально-цепному механизму. Введение в реакционную систему веществ, генерирующих высокоактивные радикалы при более низкой температуре, способствует изменению соотношения выхода продуктов первичной и последующих стадий разложения сырья. Эта способность радикальных процессов использована ГрозНИИ для управления глубиной превращения сырья и торможения реакций конденсации и управления с помощью органических добавок.

Для выбора наиболее эффективного инициатора были проведены опыты с добавкой к сырью различных веществ — инициаторов.

Основными критериями для оценки эффективности применяемых инициаторов являлись стабильность остатка висбрекинга, степень снижения вязкости, влияние на выход газа, бензина и кокса.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что все исследуемые добавки оказывают заметное влияние на показатели висбрекинга. Введение инициатора в небольших количествах уже приводит к существенному снижению вязкости. При увеличении количества присадки, вводимой в процесс от 0,001 до 1,0 % мас., степень снижения вязкости уменьшается. Следует отметить, что при увеличении содержания инициатора в сырье от 0 до 1 % мас. вязкость остатка висбрекинга ниже по сравнению с вязкостью остатка без инициатора.

Выход карбоидов также зависит от типа инициатора, введение его в сырье повышает степень стабильности остатка висбрекинга. Причем, с увеличением количества вводимых инициаторов стабильность остатка висбрекинга возрастает, также на стабильность остатка влияет природа вводимых инициаторов.

Выход газа и бензина также зависят от типа и количества добавляемых инициаторов. Небольшое количество присадок (0,001 % мас.) способствует торможению реакций, протекающих с образованием газа и бензина, независимо от типа присадки. Повышение количества инициаторов от 0,001 % до 1 % мас. приводит к увеличению выхода побочных продуктов — газа и бензина.

Таким образом, применяя различные инициаторы, можно менять направление реакций висбрекинга, уменьшая выход побочных продуктов и снижая вязкость остатка процесса, и значительно улучшая стабильность остатка висбрекинга.

### Список литературы:

1. Ахмадова Х. Х., Сыркин А. М., Махмудова Л. Ш. Становление и развитие процесса висбрекинга тяжелого углеводородного сырья. М.: Химия, 2008. 208 с.
2. Давлетшин А. Р. Исследование закономерностей термолитиза нефтяных остатков в процессе висбрекинга с реакционной камерой с восходящим потоком. Дисс. канд. техн. наук. Уфа, 2008. 118 с.
3. Капустин В. М. Роль отечественных компаний в модернизации российских нефтеперерабатывающих заводов // Мир нефтепродуктов. 2007. № 7. С. 18—20.
4. Капустин В. М. Глубокая переработка углеводородного сырья в условиях финансового кризиса // Мир нефтепродуктов. 2009. № 3. С. 8—10.
5. Технологический регламент для проектирования установок термического крекинга гудрона производительностью 1,5 млн. т в год на площадке Бургасского НХК. Грозный. — 1978.
6. Хаджиев С. Н. Создание современных технологий глубокой комплексной и безотходной переработки нефти // Перспективные процессы и катализаторы нефтепереработки и нефтехимии.- Сб. научных статей. М.: ЦНИИТЭнефтехим. 1990. Вып. 43. С. 5—15.

## МЕТОД РАСЧЕТА МЕМБРАННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД СУЛЬФАТНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ЗАВОДОВ

**Труберг Арсений Александрович**

*ассистент, РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Москва*

*E-mail: [atruberg@gmail.com](mailto:atruberg@gmail.com)*

**Силос Ольга Владимировна**

*ассистент, РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Москва*

*E-mail: [silos\\_olga@mail.ru](mailto:silos_olga@mail.ru)*

**Тернугов Григорий Валентинович**

*д-р техн. наук, профессор РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Москва*

*E-mail: [mamont58@mail.ru](mailto:mamont58@mail.ru)*

В настоящее время объем производства целлюлозы (Ц) и полуфабрикатов высокого выхода в мире составляет примерно 55 млн т/год, в том числе хвойная белая сульфатная Ц — 43 %; лиственная белая сульфатная — 42; небелая сульфатная — 5; белая сульфитная — 3; ХТММ и древесная масса — 7 %. За 1990—2005 гг. мощности по выработке белой сульфатной Ц выросли с 29 млн до 45 млн т/год [7, с. 63].

При постоянно возрастающих мощностях, предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) остаются одним из главных потребителей свежей воды, а по количеству сточных вод они вместе с деревообрабатывающими предприятиями занимают первое место, сбрасывая почти 1,5 млрд м<sup>3</sup> сточных вод ежегодно [2, с. 37].

Сточные воды, поступающие на внеплощадочные очистные сооружения, содержат значительные количества взвешенных и растворенных веществ как органических, так и неорганических [4, с. 13, 14]. Их состав очень разнообразен. Это обусловлено тем, что в процессе получения целлюлозы около 50 % органических веществ древесины переходит в раствор, образуя концентрированные щелока, часть которых (5—20 %) попадает в сток.

Разнообразие видов загрязнений сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности и их концентраций привело к необходимости создания сложных, многостадийных схем и разнообразных систем очистки воды [1, с. 33]. Однако, качество очищенной воды не всегда соответствует нормам, не только на повторное использование ее в производстве, но и на сброс в поверхностные водоемы.

Сопоставление показателей сточных вод с рядом нормативных требований [5, с. 29], показывает необходимость поиска более совершенных технологий очистки. Одной из таких технологий является мембранное разделение [4, с. 16]. Мембранные методы позволяют решать вопросы очистки воды и одновременно осуществлять концентрирование и извлечение из сточных вод ценных растворенных веществ, а также очищать воду от бактерий и взвешенных веществ, органических и неорганических компонентов.

В опубликованных ранее работах, авторами было доказано, что селективность [6, с. 42] и удельная производительность [5, с. 33], различных типов полупроницаемых мембран в широком диапазоне концентраций и рабочих давлений могут быть определены с достаточной точностью. Расчет степени очистки по основным показателям — цветности, окисляемости и содержанию минеральных веществ, проводится на основании одного опыта.

Предлагается применять углеграфитовые и керамические мембраны в процессах микро- и ультрафильтрации для удаления из сточных вод ЦБП лигнинов и органических веществ, а полимерные мембраны — использовать в процессе обратного осмоса для деминерализации стоков. Такая ступенчатая очистка сточных вод с использованием двух различных типов мембран позволяет получить на выходе воду с достаточной степенью очистки для возврата в технологический процесс или сброса в поверхностные воды.

В задачу данной работы входило исследование взаимосвязи селективности по минеральным веществам с селективностью по стандартному раствору NaCl, при разделении сульфатных стоков, с целью получения корреляционных зависимостей и эмпирических уравнений, которые можно было бы рекомендовать для технологических расчетов мембранных установок при очистке сточных вод сульфатцеллюлозного производства. Исследование данной взаимосвязи представляет особый интерес, поскольку, при создании замкнутого водооборота на предприятиях ЦБП одной из основных проблем является обессоливание сточных вод с целью предотвращения накопления в системе неорганических солей [3, с. 51].

Исследования проводились на модельных растворах, приготовленных путем разбавления концентрированного черного щелока и реальных растворах сточных вод сульфатных ЦБП. В работе использовались обратноосмотические (композитные) мембраны с характеристиками, приведенными в таблице 1 (производитель мембран ЗАО НТЦ «Владипор»).

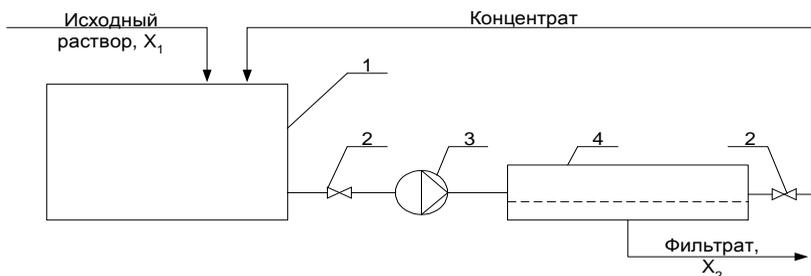
Таблица 1

## Характеристики мембран

Тип мембраны	Марка мембраны	Селективность мембраны I по 0,15 % раствору NaCl, %		Удельная производительность по чистой воде Go, л/м <sup>2</sup> ·ч	
		Рабочее давление P, МПа			
		1,96	3,43	1,96	3,43
Композитные	ОФАМ	79,6	86,7	29,6	32,9
	МГА-80	72,6	80,1	24,1	27,0
	МГА-90	89,0	91,2	20,5	23,4
	ОПАМ	85,3	89,8	28,2	31,9

Концентрацию растворенных веществ определяли по стандартным методикам. Время проведения экспериментов варьировалось от 1 до 40 часов, в зависимости от рабочего давления, типа мембраны и количества отбираемой пробы необходимой для анализа.

Принципиальная схема установки приведена на рисунке 1.



**Рис. 1. Схема экспериментальной установки мембранного разделения**

1 — емкость, 2 — вентиль, 3 — насос, 4 — мембранный модуль

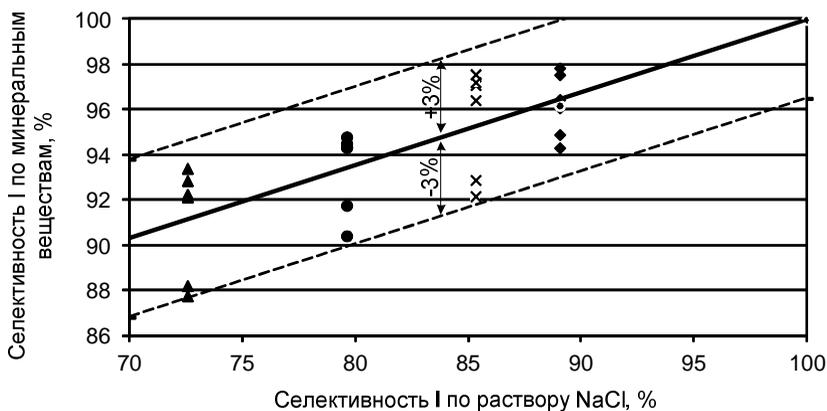
При проведении эксперимента фиксировались концентрация пермеата (фильтрата) и производительность мембран.

Наблюдаемая селективность (уравнение 1) мембран рассчитывалась по содержанию неорганических веществ в стоках ЦБП. Неорганические вещества определялись концентрацией ионов  $\text{Na}^+$ , имеющих наименьший размер гидратированного иона, вследствие чего наименьшую селективность мембран по данному компоненту.

$$I_i = \frac{x_{1i} - x_{2i}}{x_{1i}} \quad (1)$$

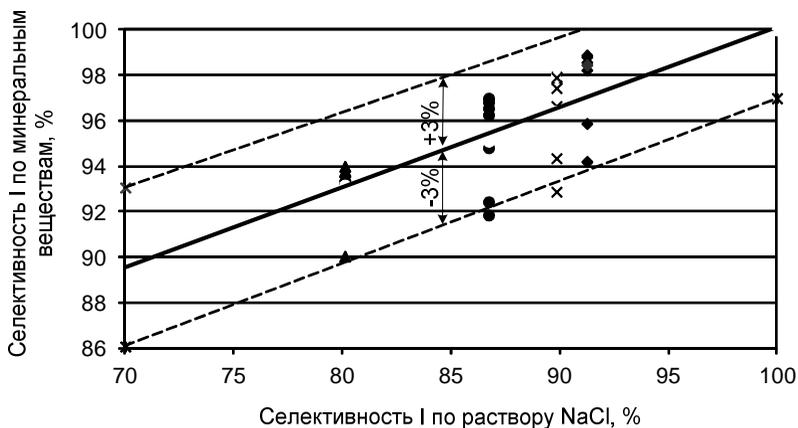
Полученные на основе экспериментальных данных зависимости селективности мембран от концентрации растворенных веществ в сточных водах сульфатного ЦБП более подробно представлены в предыдущей работе [6].

Взаимосвязь селективности по минеральным веществам, содержащимся в стоках сульфатных ЦБП с селективностью по стандартному раствору NaCl, полученная на основании проведенного эксперимента, представлена на рисунках 1 и 2.



**Рис 1. Взаимосвязь селективности по минеральным веществам с селективностью по стандартному раствору NaCl при разделении сульфатных стоков, при P=1,96 МПа.**

- — 5КП (ОФАМ); ▲ — 6КП (МГА-80); ◆ — 7КП (МГА-90);
- × — 8КП (ОПАМ)



**Рис 2. Взаимосвязь селективности по минеральным веществам с селективностью по стандартному раствору NaCl при разделении сульфатных стоков, при P=3,43 МПа.**

● — 5КП (ОФАМ); ▲ — 6КП (МГА-80); ◆ — 7КП (МГА-90);  
× — 8КП (ОПАМ)

При анализе полученных экспериментальных данных выявлено, что селективность полимерных мембран по минеральным веществам при очистке сульфатных сточных вод, при различных давлениях, может быть связана с селективностью этих мембран по стандартному раствору NaCl следующим соотношением:

$$I_{\text{мин}}^{(\text{Na}^+)} = 66 + 0,34 \cdot I_{\text{NaCl}} \quad (2)$$

при  $I_{\text{NaCl}}=70—100\%$

Сравнение данных, полученных с помощью предложенной корреляционной зависимости (уравнение 2) с экспериментальными данными для ряда полимерных мембран показывает, что расхождение в результатах не превышает 5%.

Таким образом, представленные результаты экспериментов по разделению сульфатных стоков с использованием композитных мембран позволяют заключить, что степень очистки от минеральных соединений удобно рассчитывать с помощью эмпирического соотношения (уравнение 2), которое по паспортному значению селективности мембран по раствору NaCl позволяют в широком интервале рабочих концентраций и давлений определить степень очистки сточных вод от минеральных веществ.

### Условные обозначения

$I_i$  — наблюдаемая селективность мембраны, %;

$x_{1i}$  — концентрация разделяемого раствора, мг  $\text{Na}^+$ /л;

$x_{2i}$  — концентрация фильтрата, мг  $\text{Na}^+$ /л;

$I_{\text{NaCl}}$  — селективность мембраны по раствору  $\text{NaCl}$ , %;

$I_{\text{мин}}$  — селективность мембраны по минеральным веществам ( $\text{Na}^+$  - ионам), %;

$G_0$  — удельная производительность мембраны по чистой воде, л/м<sup>2</sup>·ч;

### Список литературы:

1. Баицкий В. Н., Кирсанова Т. В., Комягин Е. А., Мынин В. Н., Терпугов Г. В., Кирсанов В. А. Применение мембранной технологии в целлюлозно-бумажной промышленности. // Экология и промышленность России, 2002, № 7. С. 33—35.
2. Вишнякова А. П., Бровко О. С. Для очистки, концентрирования и фракционирования лигносульфонатов сульфитного щелока // Экология и промышленность России, 2009, №8. С. 37—39.
3. Зименков В. В., Симонов С. С., Еманкова Л. М. Разработка схемы предочистки сточной воды Селенгинского целлюлозно-картонного комбината перед обратноосмотическим обессоливанием. // Химия и технология воды, 1994, т. 16, № 1. С. 51—58.
4. Терпугов Г. В. Разработка процессов очистки сточных вод и технологических жидкостей с использованием мембранной технологии: Дис. ... док. тех. наук. М., 2000.
5. Труберг А. А., Силос О. В., Терпугов Г. В. Исследование очистки сточных вод сульфатных целлюлозно-бумажных заводов с помощью полупроницаемых мембран. // Химическая промышленность, 2012, № 2. С. 28—33.
6. Труберг А. А., Силос О. В., Терпугов Г. В. Влияние концентрации растворенных веществ в стоках сульфатных целлюлозно-бумажных заводов на селективность полупроницаемых мембран. // Химическая промышленность, 2010, № 11. С. 38—42.
7. Хабегс Л. Экономичная экология. // Целлюлоза, бумага, картон, 2009, № 4. С. 59—63.

## СЕКЦИЯ 9.

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

#### ОРГАНИЗАЦИЯ СБАЛАНСИРОВАННЫХ РАЦИОНОВ ПИТАНИЯ — ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ОЗДОРОВЛЕНИИ НАСЕЛЕНИЯ СТРАНЫ

*Борисенко Александр Алексеевич*

*канд. техн. наук, доцент СТИК (БУКЭП), г. Ставрополь*

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

Проблема здорового питания в последние годы привлекает большое внимание со стороны государства, врачей, технологов и ученых различных специальностей. Много внимания уделяется микроэкологической системе организма человека, включающей в себя разнообразные по количественному и качественному составу ассоциации микроорганизмов и продукты их биохимической активности. В связи с этим для улучшения функционирования пищеварительного тракта человека, профилактики и лечения некоторых специфических заболеваний современные производители продуктов питания используют в технологии приготовления своей продукции различные диетические добавки, витаминно-минеральные комплексы, пробиотики, пребиотики и синбиотики.

Однако до сих пор мало внимания уделяется организации сбалансированных рационов питания населения нашей страны. Ведь для обеспечения нормального хода основных жизненных процессов необходимо поступление в организм не только определенного количества пищевых веществ и энергии, но и полное соответствие химической структуры пищи состоянию физиологических систем организма, ответственных за ее усвоение [1]. Количественные и качественные пропорции пищевых продуктов в рационе определяются согласно теории сбалансированного питания с учетом возраста, пола, профессии, уровня энерготрат, индивидуальных привычек, национальных особенностей питания и других показателей.

Лечебно-профилактическое питание, составление рационов и диет, безусловно, применяется во врачебной практике в нашей стране.

Диетологи и врачи ограничивают или вводят в рационы питания в повышенном количестве отдельные продукты, используют для приготовления блюд различные режимы щажения [1]. Но обеспечить рационы максимальной сбалансированностью отдельных нутриентов без соответствующего программного обеспечения они не в состоянии. Разработка рецептур сбалансированных пищевых продуктов, соответствующих нормам здорового потребления населения требует годы натурального эксперимента и без специальной компьютерной поддержки практически невозможна.

Для моделирования рецептур и рационов адекватных формуле сбалансированного, в том числе, лечебно-профилактического питания, для оценки рецептур существующих технологий, рекомендаций по оптимизации их сбалансированности и повышению степени экологической чистоты и безопасности разработан программный комплекс, в основу которого положены теоретические аспекты, изложенные в работах академиков РАСХН Липатова Н. Н. и Рогова И. А. [2].

Функционирование программы осуществляется при взаимодействии с базой данных, которая содержит сведения о структуре пищевых продуктов, их химическом, аминокислотном, жирнокислотном, витаминном и микроэлементном составе, а также данные об эталонном содержании различных компонентов для рационального питания человека. На данном этапе жизненного цикла программы осуществляется ее интеграция с электронными сборниками рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания.

Моделирование всех возможных вариантов рецептур и рационов по заданным интервалам массовых долей компонентов осуществляется на основе алгоритма рекурсивного цикла, использующего специализированную базу данных, в основу которого положена предложенная автором зависимость следующего вида для  $i$ -го уровня цикла:

$$S_{ij} = S_{(i-1)a} + m_{iq} \quad (1)$$

где:  $m_{iq}$  — вариант  $q$  массовой доли  $i$ -го компонента (вектора  $M_i$ );  $S_{(i-1)a}$  — сумма  $a$ -го порядка уровня  $i-1$ ;  $S_{ij}$  —  $j$ -ая сумма текущего уровня цикла;  $j = \overline{0, (r-1)}$ ,  $r$  — количество всех возможных вариантов сумм массовых долей элементов уровня  $i$ ;  $i = \overline{0, (z-1)}$ , где  $z$  — количество компонентов (векторов) в моделируемой рецептуре;  $a = \overline{0, (k-1)}$ , где  $k$  — количество всех возможных вариантов сумм массовых долей элементов уровня  $i-1$ ;  $q = \overline{0, (h-1)}$ , где  $h$  — количество всех возможных значений массовой доли компонента (вектора)  $i$  на текущем уровне.

Формула (1) позволяет реализовать рекурсию, суть которой заключается в следующем. На первом уровне цикла определяются все варианты всех сумм двух первых векторов  $M_1$  и  $M_2$ , которые закладываются в  $S_{ij}$ . На втором уровне в  $S_{ij}$  записываются все варианты всех сумм элементов вектора  $S_{(i-1)a}$  и третьего вектора  $M_3$ . Последний уровень цикла определяет  $S_{ij}$  как, массив, содержащий суммы элементов векторов  $S_{(z-2)a}$  и  $M_z$ .

По завершению цикла массив  $S_{ij}$  содержит значения всех допустимых вариантов сумм элементов всех векторов.

Существенного снижения в процессе моделирования количества операций и числа участвующих в них элементов можно добиться за счет проверки на каждом уровне рекурсивного цикла условия:

$$\begin{aligned}
 e_{z-i} &\leq 100 - S_{ij} \leq E_{z-i}, \\
 e_{z-i} &= \sum_{s=i+1}^z m_{s_{\min}}, \\
 E_{z-i} &= \sum_{s=i+1}^z m_{s_{\max}}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где:  $m_{s_{\min}}$  — минимальная массовая доля компонента  $s$ ;  $m_{s_{\max}}$  — максимальная массовая доля компонента  $s$ ;  $z$  — количество компонентов в рецептуре.

Получение отдельного варианта рецептуры сводится к нахождению выражения (1) последнего уровня цикла, удовлетворяющего условию, согласно которому сумма всех компонентов продукта при любом варианте его исполнения должна быть равной единице:

$$S_{(z-1)j} = S_{(z-2)a} + m_{(z-1)q} = 1,
 \tag{3}$$

где:  $m_{zq}$  — массовая доля последнего компонента в новой рецептуре.

Поиск возможных вариантов состава рецептов в разработанном программном комплексе заключается в проверке условия (3) и выборке в соответствии с ним из специализированной базы данных по известным на каждом уровне цикла индексам  $i$ ,  $q$ ,  $a$  массовых долей  $m$  всех компонентов:

$$\begin{aligned}
 S_{ij} &= S_{(i-1)a} + m_{iq}, \\
 S_{(i-1)j} &= S_{(i-2)a} + m_{(i-1)q}, \\
 &\dots\dots\dots, \\
 S_{0j} &= m_{0q}.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Процесс выборки происходит по «закручивающейся спирали», то есть в обратном порядке по отношению к процессу составления всех возможных вариантов сумм массовых долей компонентов.

Таким образом, совершая обратный переход от верхнего уровня цикла к крайнему нижнему, поэтапно составляется компонентный состав моделируемой рецептуры. Затем для каждой рецептуры рассчитывается ее степень сбалансированности и адекватности физиологическим потребностям организма человека.

Рекурсия применительно к разработанному алгоритму представляет собой процесс использования одного и того же массива в качестве аргумента поэтапного суммирования и полученного при этом результата. Смена этапов суммирования реализуется с использованием цикла. Исходя из этого, можно утверждать, что в разработанном алгоритме применяется не «чистая», а развернутая в цикл рекурсия.

В программе применяется механизм автоматического регулирования введенных значений массовых долей компонентов моделируемой рецептуры, препятствующий вводу некорректных данных, выходящих за допустимые границы проектирования. Однако предусмотрена возможность отключения данного механизма, которая используется при необходимости увеличения диапазона поиска моделируемых рецептов.

Наряду с оценкой сбалансированности рецептов на основе заданных в абсолютных или относительных единицах эталонов, в программе реализован расчет дополнительных критериев биологической и пищевой ценности проектируемых продуктов питания, что позволяет осуществлять выбор оптимальной рецептуры на основе нескольких первостепенных показателей, отвечающих за качество проектируемого продукта.

Разработанная программа нашла широкое практическое применение в научных разработках научно-исследовательских институтов и учебных вузов. Спроектированные на ее основе новые технологии пищевых продуктов внедрены в производство. Интеграция описанных алгоритмов с информационными технологиями в общественном питании позволяет вынести разработку рационов и лечебно-профилактических диет на новую ступень её научно-практического развития. Перспективным направлением является компьютерное моделирование сбалансированных рационов питания с использованием в качестве обогащающих ингредиентов пребиотиков и пробиотиков или продуктов, в состав которых они уже включены. Внедрение подобных рационов в систему общественного питания страны должно стать стратегической целью государства в области повышения уровня жизни населения страны.

### **Список литературы:**

1. Книга о вкусной и здоровой пище / Под общ. ред. проф. И. М. Скурихина. — 12-е изд., перераб. и доп. — М.: АСТ-Пресс, 2009. — 400 с.
2. Липатов, Н. Н. Предпосылки компьютерного проектирования продуктов и рационов питания с задаваемой пищевой ценностью // Хранение и переработка сельхозсырья. — 1995. — № 3. — С. 4—9.

## **ОБОГАЩЕНИЕ МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ДОБАВКАМИ С КОНСЕРВИРУЮЩИМ ДЕЙСТВИЕМ**

***Ситун Наталья Викторовна***

*канд. техн. наук, доцент ДВФУ, г. Владивосток*

***Текутьева Людмила Александровна***

*канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой товароведения и экспертизы*

*товаров ДВФУ, г. Владивосток*

*E-mail: [lat7777@mail.ru](mailto:lat7777@mail.ru)*

***Сон Оксана Михайловна***

*канд. техн. наук, старший преподаватель ДВФУ, г. Владивосток*

*E-mail: [oksana\\_son@bk.ru](mailto:oksana_son@bk.ru)*

***Фищенко Евгения Сергеевна***

*канд. техн. наук, доцент ДВФУ, г. Владивосток*

*E-mail: [evgeniya\\_goricka@mail.ru](mailto:evgeniya_goricka@mail.ru)*

На многих мясоперерабатывающих предприятиях для охлажденных мясных и мясосодержащих полуфабрикатов традиционно используется консервант «Робин SL», который является химическим консервантом, одним из компонентов консервирующего препарата является соль уксусной кислоты. Необходимо отметить, что соль уксусной кислоты (ацетат натрия Е 262), которая является одновременно и регулятором кислотности, и консервантом, оказывает неспецифическое раздражающее действие на организм человека. В последнее время в России интенсивно развивается рынок биологически активных добавок к пище (БАД), в своем большинстве на основе водорослей. На основе фукоидана из бурой водоросли *F. evanescens* в

ТИБОХ ДВО РАН разработана биологически активная добавка «Фуколам-С», обладающая широкой биологической активностью, в том числе и антиоксидантной. «Фуколам-С» состоит из фукоидана (не менее 60 %), золы (не более 30 %), влаги (не более 15 %). Исследование биологической активности фукоидана из *F. evanescens*, показало, что этот полисахарид не токсичен в широком диапазоне доз 0,5—1,0 г/кг массы тела человека.

При производстве охлажденных мясoproдуктов, перед технологиями ставятся задачи по пролонгации сроков годности продукта. Срок годности охлажденных мясных мелкокусковых полуфабрикатов (маринованных или с соусами) составляет не более 24 ч. Традиционно используемый консервант «Робин SL» согласно ТУ 9214-008-50831611-2002 позволяет увеличить срок годности охлажденного шашлыка до 5 суток. В этой связи нами были проведены исследования по пролонгации сроков годности охлажденного шашлыка «Традиционный» с применением биологически активной добавки «Фуколам-С».

На первом этапе исследований нами была проведена работа по подбору концентрации биологически активной добавки «Фуколам-С» для пролонгации сроков годности шашлыка охлажденного «Традиционный». Установлено, что использование биологически активной добавки «Фуколам-С» в количестве 0,5 % не приводило к изменению его органолептических показателей на протяжении 13 суток хранения.

Так как очень важными показателями качества продукта являются показатели безопасности, нами было исследовано влияние биологически активной добавки «Фуколам-С» на микробиологические показатели в концентрациях 0,1 %, 0,3 %, 0,5 %. Две опытные партии охлажденного шашлыка «Традиционный» хранили при температуре от  $-1^{\circ}\text{C}$  до  $-4^{\circ}\text{C}$ , третью партию охлажденного шашлыка «Традиционный» хранили при температуре  $6^{\circ}\text{C}$ .

Данные свидетельствуют о том, что уже на 6 сутки хранения шашлыка «Традиционный» с добавкой «Фуколам-С» в количестве 0,1 % наблюдалось превышение КМАФАнМ, в 3-й партии (в условиях аггравации) на 10 сутки хранения продукта были обнаружены БГКП. Следовательно, срок годности продукта с добавлением 0,1 % «Фуколам-С» будет составлять менее 6 суток. При добавлении в продукт биологически активной добавки «Фуколам-С» в количестве 0,3 % в 3-й партии (в условиях аггравации) на 10-е сутки хранения шашлыка происходило нарастание КМАФАнМ и были обнаружены БГКП. Следовательно, срок годности охлажденного шашлыка будет составлять менее 10 суток. Добавление «Фуколам-С» в количестве 0,5 %

позволило сохранить продукт в соответствии с установленными нормами в течение всего срока хранения — 13 суток.

При определении концентрации закладки биологически активной добавки «Фуколам-С» в продукт учитывали рекомендации Института питания РАМН.

По литературным данным суточная дозировка фукоидана составляет 100—200 мг в сутки. Нутрицевтические средства, являющиеся источниками пищевых веществ, применяются в дозах, не превышающих 6 — суточных потребностей человека [1].

Рецептуру опытного образца шашлыка «Традиционный» с применением биологически активной добавки «Фуколам-С» разрабатывали на основании утвержденной технологической инструкции к ТУ 9214-008-50831611-2006.

Особенностью технологии производства охлажденного шашлыка «Традиционный» являлось введение биологически активной добавки «Фуколам-С» на стадии перемешивания перед добавлением рассола, что способствует более равномерному распределению пищевой добавки в продукте.

Так как регулирование активной кислотности в процессе хранения охлажденных полуфабрикатов является одной из важнейших мер по обеспечению качества продукта, нами была изучена динамика величины рН охлажденного шашлыка в процессе хранения. В ходе исследований было установлено, что после 6 суток хранения у опытного образца произошло незначительное снижение величины рН, что свидетельствовало о предотвращении развития нежелательной микрофлоры и торможении окислительных процессов в мясoproдукте.

Далее мы исследовали влияние биологически активной добавки «Фуколам-С» на окислительную порчу охлажденного шашлыка в процессе хранения. После 6 суток хранения у контрольного образца величина перекисного числа заметно увеличилась на 4,5 %, у опытного образца с биологически активной добавкой «Фуколам-С» окислительные процессы протекали с меньшей активностью, чем в контрольном. На 13 сутки хранения шашлыка перекисное число в опытном образце составляло 0,21, что на 85 % меньше установленной нормы. Также исследование показали, что в конце срока годности кислотное число в охлажденном опытном образце составляло 0,1, что на 30 % ниже установленных требований.

В процессе хранения мясо может подвергаться различным изменениям, одни из которых возникают в результате жизнедеятельности непротеолитических микроорганизмов (посинение, покраснение, свечение), а другие связаны с более глубокими процессами (загар,

ослизнение, заплесневение, гниение). В результате мясо теряет не только товарный вид и в той или иной степени пищевую ценность, Для установления степени свежести мяса в шашлыке определяли следующие показатели: свежесть мяса с сернокислой медью ( $\text{CuSO}_4$ ); реакция на пероксидазу; качественная реакция на альдегиды. Значения показателей свежести оставались в пределах установленной нормы в течение 13 суток хранения.

Цвет продукта является очень важным показателем при органолептической оценке готового продукта. Кроме того, покупатель отдает предпочтение продукту, более привлекательному по внешнему виду, в том числе и по, цвету. В связи с этим было изучено влияние биологически активной добавки «Фуколам-С» на общее содержание пигментов мясopодуков и устойчивость окраски в конце срока годности шашлыка «Традиционный»: опытного образца на 10-е сутки хранения, контрольного — на 5-е сутки хранения.

Эксперименты показали, что в конце срока годности шашлыка «Традиционный» большее количество пигментов и более устойчивая окраска на 14 % наблюдается в опытном образце с добавлением «Фуколам-С».

Далее проводили органолептическую оценку охлажденного шашлыка «Традиционный» (опытного и контрольного образцов) в конце срока хранения (на 10 сутки) проводили с использованием профильного анализа. Опытный образец характеризовался преимуществом от контрольного образца по показателям: консистенция, вкус, запах. Шашлык «Традиционный» с добавлением «Фуколам-С» имел более выраженный мясной вкус и приятный специфический аромат; консистенция после жарки продукта была более сочной по сравнению с контрольным образцом.

Таким образом:

- разработана рецептура и технология производства охлажденного шашлыка с применением БАД «Фуколам-С». Проведена выработка опытной партии шашлыка в промышленных условиях ООО «Ратимир»;
- изучено влияние БАД «Фуколам-С» на изменение рН в процессе хранения охлажденного шашлыка;
- установлено, что БАД «Фуколам-С» предохраняет охлажденный мясной полуфабрикат от окислительной порчи;
- выявлено, что применение БАД «Фуколам-С» создает благоприятные условия для стабилизации окраски продукта в конце срока годности;

- показано положительное влияние БАД «Фуколам-С» на органолептические показатели охлажденного шашлыка;
- показано, что БАД «Фуколам-С» препятствует превышению КМАФАнМ и развитию БГКП в процессе хранения охлажденного шашлыка, повышая санитарно - гигиенические показатели продукта и тем самым пролонгируя срок хранения полуфабриката;
- определено, что применение БАД «Фуколам-С» увеличивает срок хранения охлажденного шашлыка до 10 суток по сравнению с традиционно используемым консервантом «Робин SL» (5 сутки).

### **Список литературы:**

1. Устинова, А. В. Обогащение мясопродуктов [Электронный ресурс]: [Информация по Дальнему Востоку] / А. В. Устинова. — Электрон. дан. — Владивосток: Обогащение мясных продуктов витаминами, [2009]. — Режим доступа: URL: [http://www.medved.kiev.ua/arh\\_nutr/](http://www.medved.kiev.ua/arh_nutr/) (дата обращения 14.12.2009)

## СЕКЦИЯ 10.

### ТРАНСПОРТ

#### КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНО-ТЯГОВОГО АГРЕГАТА НА ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ И ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМ

*Мироненко Александр Вячеславович*

*студент, ЛГТУ, г. Липецк*

*E-mail: [alexfilm91@yandex.ru](mailto:alexfilm91@yandex.ru)*

*Гребеньков Дмитрий Васильевич*

*канд. техн. наук, доцент ЛГТУ, г. Липецк*

*E-mail: [greben80@rambler.ru](mailto:greben80@rambler.ru)*

В настоящее время в связи с отсутствием спроса среди сельхозпроизводителей на отечественные колесные тракторы, а также отсутствием предложения таких тракторов российскими производителями, может быть актуально создание не специализированного колесного сельскохозяйственного трактора, а универсального транспортно-тягового агрегата (УТТА) с возможностью использования его в качестве с/х трактора.

Типичными представителями с/х тракторов общего назначения шарнирно-сочлененной схемы являются широко известные тракторы Т-150К и тракторы семейства К-700. Остов этих тракторов состоит из двух полурам соединенных вертикальных шарниром, колеса неуправляемые, изменение направления движения осуществляется поворотом полурам относительно друг друга. На базе этих тракторов выпускались различные модификации для использования в строительстве, дорожных работах и т. п. Однако использование для изменения направления движения шарнирно-сочлененной рамы с вертикальным шарниром накладывает определенные ограничения на использование тракторов такого типа на транспортных операциях с повышенными скоростями.

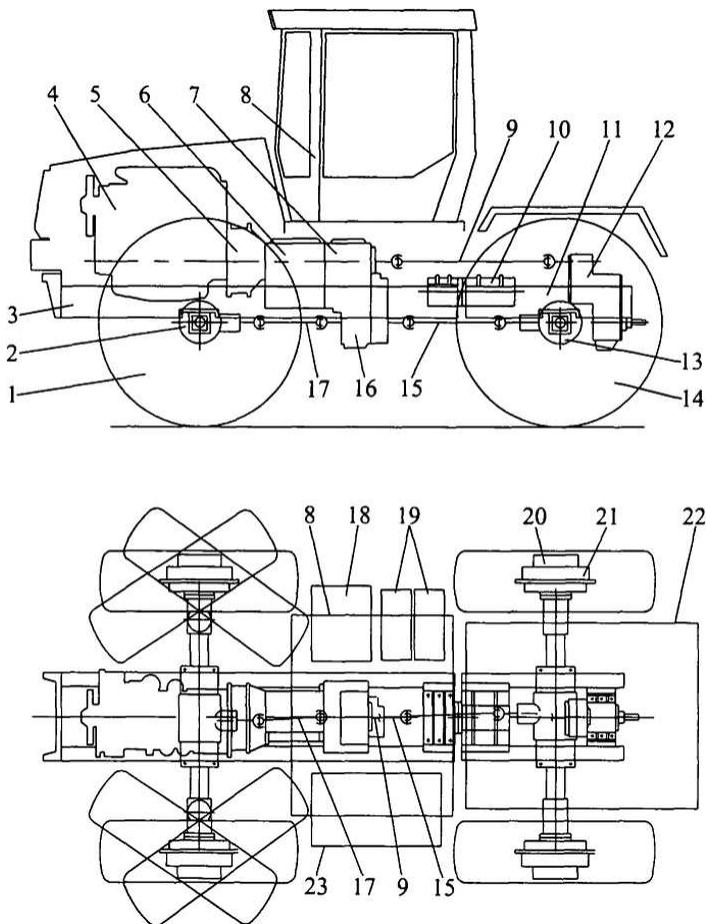
Типичным представителем тракторов интегральной схемы является трактор ЛТЗ-145 (позднее ЛТЗ-155). Тракторы этого типа

более универсальны при с/х применении, но менее приспособлены для создания модификаций, предназначенных для альтернативного применения, ввиду отсутствия несущей рамы и глубокой интеграции узлов и агрегатов.

Общим недостатком названных моделей тракторов с точки зрения концепции УТТА можно считать безвариантность исполнения трансмиссии трактора, за исключением наличия или отсутствия ходоуменьшителя. Все они имеют однотипные коробки передач с шестернями постоянного зацепления и переключение передач гидроподжимными фрикционными муфтами с малым соотношением смежных передач, оптимизированными для выполнения с/х операций. Для выполнения транспортных работ более оптимальными представляются механические коробки передач автомобильного типа с расширенным диапазоном передаточных чисел.

В основе концепции УТТА (рис. 1) лежит модульная конструкция, позволяющая компоновать агрегат из отдельных модулей. Это достигается благодаря применению несущей рамы (в отличие от ЛТЗ-155), состоящей из двух полурам, соединенных между собой (в отличие от трактора Т-150К) разъемным горизонтальным шарниром, позволяющим полурамам прокачиваться относительно друг друга в поперечной плоскости. Такая конструкция остова обеспечивает равномерное распределение нагрузки по колесам при движении по неровностям, уменьшает изгибающие и скручивающие нагрузки на раму. На передней полураме установлен силовой блок, включающий двигатель, сблоченный с коробкой передач и раздаточной коробкой с ходоуменьшителем. К передней полураме крепится передний управляемый ведущий мост (возможны варианты как с жестким креплением, так и с подрессоренным). Задняя полурама предназначена для крепления к ней заднего моста, который может быть как с неуправляемыми, так и с управляемыми колесами, заднего навесного устройства, а так же установки различного специального оборудования на площадке над задним мостом. Задний вал отбора мощности выполнен в виде отдельного блока и позволяет отбирать значительную часть мощности двигателя для привода различного оборудования. Так же предусмотрена установка переднего ВОМ с гидрообъемным приводом и передней навесной системы.

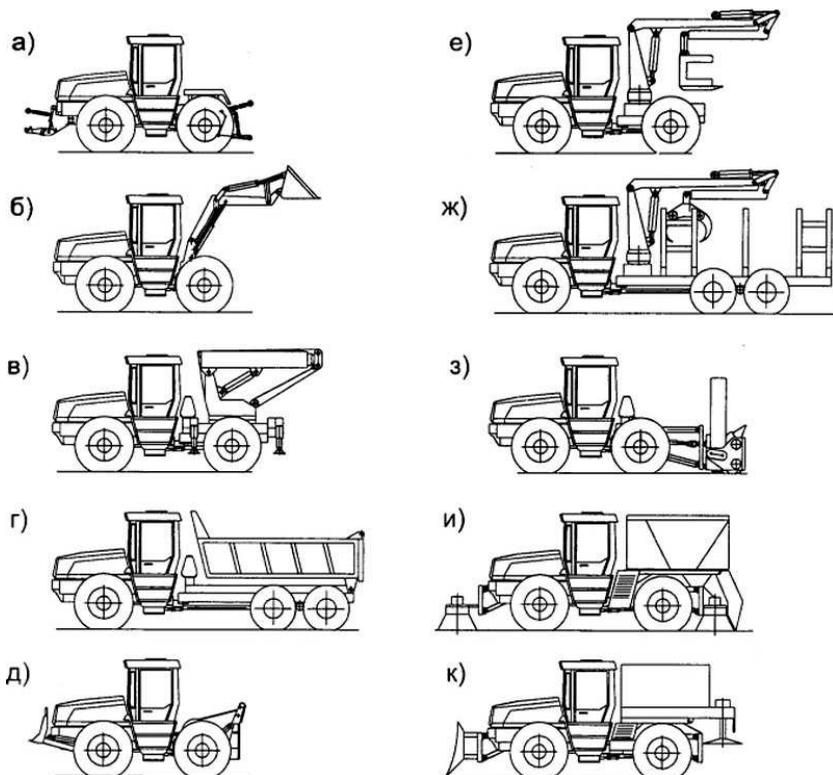
Кабина может быть установлена для движения в ту или иную сторону или с реверсивным постом управления. Схема трансмиссии предусматривает несколько мест для присоединения насосов гидрообъемного привода для широко применяемого приводного навесного оборудования, с расположением их в различных местах УТТА.



**Рисунок 1 — Схема модульного построения УТТА**

**1 — передние колеса; 2 — передний мост; 3 — передняя секция рамы; 4 - двигатель; 5 — сцепление; 6 — коробка передач; 7 — раздаточная коробка; 8 — кабина; 9 — карданный вал редуктора вала отбора мощности (ВОМ); 10 — горизонтальный шарнир; 11 — задняя секция рамы; 12 — редуктор ВОМ; 13 — задний мост; 14 — задние колеса; 15, 17 — карданные валы; 16 — межосевой дифференциал; 18 — масляный бак; 19 — аккумуляторные батареи; 20 — планетарный редуктор; 21 — барабанный тормоз; 22 — технологическая площадка; 23 — топливный бак**

Наличие разъемного горизонтального шарнира между полурамами позволяет использовать заднюю секцию в качестве технологического модуля для создания широкой гаммы машин для использования в различных отраслях народного хозяйства — сельском хозяйстве, промышленности, лесном и коммунальном хозяйстве и других отраслях (рис. 2). Путем некоторого упрощения трансмиссии и удлинения задней полурамы возможно создание транспортных средств высокой проходимости колесных формул 4x4 (грузоподъемностью порядка 4 т) и 6x6 (грузоподъемностью порядка 8 т).



**Рисунок 2 — варианты различных машин на базе УТТА**  
**а — с/х трактор; б — фронтальный погрузчик; в — кран гидравлический; г — самосвал с задней или боковой разгрузкой; д — лесной колесный тягач; е — валочная машина; ж — сортиментовоз; з — шнекороторный снегоочиститель; и — уборочная машина; к — пескоразбрасыватель**

Для таких вариантов УТТА возможно использование синхронизированной коробки передач автомобильного типа с увеличенным соотношением передаточных чисел смежных передач. Это позволит упростить и удешевить трансмиссию УТТА в данном варианте исполнения, а также снизить затраты при эксплуатации. Модульность конструкции должна быть распространена и на компоновку агрегатов трансмиссии с целью гибкого изменения её возможностей и характеристик для получения оптимального соотношения «цена-качество» и удовлетворения требований потребителей. Анализ и выбору конструктивных схем трансмиссий для УТТА может быть посвящена отдельная статья.

Таким образом, предложенная концепция УТТА сочетает в себе лучшие качества и особенности конструкции колесных тракторов общего назначения и интегральных тракторов с возможностями по созданию транспортных, строительных, коммунальных и других машин и агрегатов.

### **Список литературы:**

1. Отечественные сельскохозяйственные тракторы. Иллюстрированная история развития за 100 лет/ НАТИ. — Москва, 1996.
2. Справочник по тракторам Т150 и Т-150К / В. А. Бугара, Н. Н. Ватуля и др; под ред. Б. П. Кошубы. — М.: Прапор, 1975. — 400 с.
3. Тракторы. Конструкция под общ. ред. И. П. Ксеновича, В. М. Шарипова. — М.: МГТУ «НАМИ», 2001. — 821 с.

## **ВОПРОСЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*Смирнов Виктор Александрович*

*канд. техн. наук, доцент ОмГУПС, г. Омск*

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

Экономия топливно-энергетических, материальных и трудовых ресурсов является приоритетной задачей современного этапа развития железнодорожного транспорта. Повышенное внимание данному вопросу уделяется на предприятиях локомотивного и вагонного хозяйства, обеспечивающих ремонт подвижного состава, для которых ресурсно-энергетическая составляющая играет ключевую роль в формировании себестоимости оказываемых услуг.

Решение поставленных задач по снижению энерго- и ресурсопотребления на предприятиях ОАО «РЖД» осуществляется в рамках

отраслевой инвестиционной программы «Внедрение ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте». Суммарный размер ежегодных финансовых вложений в модернизацию производства по данной программе превышает 2 млрд. рублей, при этом существенная доля инвестиций приходится на техническое перевооружение предприятий локомотивного и вагонного хозяйства.

При несомненной эффективности мероприятий на действующих объектах, проводимых в виде точечных изменений по результатам технического аудита, наибольшую результативность обеспечивают комплексные решения, закладываемые на этапе создания, технологической модернизации и реконструкции предприятий. Последнее направление особенно важно для «де факто» уже сформировавшегося производственного комплекса ремонтных предприятий ОАО «РЖД».

Вопросы ресурсосбережения при ремонте подвижного состава затрагивают следующие направления:

- 1) повышение энергетической эффективности технологических процессов ремонта;
- 2) снижение затрат топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на содержание производственной инфраструктуры, отопление, вентиляцию и освещение зданий;
- 3) экономия материальных, трудовых, производственных и земельных ресурсов (потребностей в производственных площадях).

Затраты топливно-энергетических ресурсов являются наиболее управляемой группой факторов, влияющих на показатели ресурсоемкости производства. Играя важную роль в формировании себестоимости конечных услуг, они доступны как для системных, так и для отдельных точечных (локальных) изменений.

Основными видами ТЭР, потребляемыми при ремонте железнодорожного подвижного состава, являются: электрическая, тепловая энергия и дизельное топливо. В качестве вспомогательных энергоносителей используются горючие газы, сжатый воздух, перегретый пар.

Энергоемкость конкретного вида ремонта определяется по выражению:

$$c^{(p)} = \frac{\sum_{i=1}^N C_i^{(TX)} + C^{(OXP)} \cdot \alpha}{N(t)}, \quad (1)$$

где:  $C^{(TX)}$  — технологические затраты ТЭР для выполнения единицы данного вида ремонта (переменная составляющая);

$C^{(OXP)}$  — затраты на энергообеспечение производственной инфраструктуры предприятия (условно-постоянные расходы на отопление, освещение, вентиляцию);

$N(T)$  — объем данного вида ремонта за период  $t$  (единиц).

$\alpha_i$  — распределение инфраструктурных затрат по видам ремонта — может быть принято пропорциональным затратам на технологические операции или найдено расчетно-аналитическим путем по результатам энергетического обследования предприятия.

В соответствии с этим, состав энергосберегающих мероприятий при ремонте подвижного состава должен предусматривать комплексное снижение потребления ТЭР на технологические процессы и операции, а также сокращение условно-постоянных затрат, за счет использования современных средств тепловой защиты зданий, приборов освещения, систем вентиляции и кондиционирования [2, 4].

Затраты на технологические процессы при ремонте подвижного состава складываются из плановых затрат топливно-энергетических ресурсов на выполнение технологических операций, предусмотренных нормативной и технической документацией  $C^{(TO)}$ , затрат на транспортное обслуживание и логистику  $C^{(TL)}$ , потерь, связанных с внутренним возвратом и устранением брака в работе  $C^{(K)}$ :

$$C^{(TX)} = C^{(TO)} + C^{(TL)}(F) + C^{(K)}(w^K), \quad (2)$$

где:  $F$  — мощность грузопотока перемещения ремонтного фонда, материалов, комплектующих и запасных частей;

$w^K$  — параметр потока внутреннего возврата узлов и деталей забракованных по результатам выходного контроля.

Расчет затрат на технологические операции ремонта подвижного состава производится по удельным технологическим нормам или характеристикам энергопотребления оборудования с учетом показателей его использования [3].

Результаты энергетического обследования предприятий вагонного хозяйства ОАО «РЖД» показали, что наибольшее потребление ТЭР при ремонте вагонов приходится на следующие виды технологических операций: очистка вагонов и оборудования перед ремонтом, демонтаж и установка оборудования, восстановление поврежденных и изношенных деталей сваркой и наплавкой, формирование колесных пар, очистка от старой краски, окраска, сушка узлов и деталей подвижного состава, прямо-сдаточные испытания после ремонта.

Снижение технологической энергоемкости достигается путем использования энергосберегающего технологического оборудования, повышения качества ремонта, оптимального конфигурирования производственных участков и цехов, выбору рациональных планировок оборудования, способов и средств доставки (таблица 1).

**Таблица 1****Типовые энергосберегающие мероприятия при ремонте подвижного состава**

<b>Наименование мероприятия</b>	<b>Факторы эффективности</b>
1. Применение винтовых компрессорных установок с автоматическим частотным приводом для генерации сжатого воздуха.	Снижение расхода электрической энергии до 15 % по сравнению с традиционными поршневыми компрессорными установками.
2. Применение электросварочных аппаратов на основе инверторных преобразователей.	Экономия электроэнергии за счет более высокого КПД, повышения качества сварки.
3. Использование импульсных регуляторов в многопостовых сварочных системах.	Повышение КПД многопостовой системы с 48—50 % до 90 %, улучшение качества сварки.
4. Очистка оборудования подвижного состава струями высокого давления растворов поверхностно-активных моющих средств.	Сокращение затрат теплоносителей на нагревание раствора до 3 раз, уменьшение расхода воды.
5. Оснащение моечных машин локальными установками очистки моющего раствора.	Снижение расхода тепловой энергии на нагрев моющего раствора, уменьшение расхода воды.
6. Инфракрасная сушка узлов и деталей подвижного состава после окрашивания.	Сокращение затрат электроэнергии в 3—5 раз по сравнению с конвективными камерами.
7. Вакуумная сушка пиломатериалов с предварительной сортировкой и оптимальной загрузкой сушильных печей.	До 60 % экономии электроэнергии по сравнению с конвективными сушильными установками.
8. Внедрение ЧПУ на станках для обточки колесных пар.	Энергоэкономичные режимы механической обработки.
9. Использование тяговых модулей при подаче подвижного состава на ремонтные позиции.	Экономия топлива за счет сокращения времени использования маневрового тепловоза.
10. Внедрение технологий «бережливого» производства.	Улучшение показателей использования оборуд., сокращение непроизводительного расхода ТЭР.

Фонд заработной платы составляет порядка 25—30 % в структуре затрат себестоимости ремонта подвижного состава. Кардинальное снижение трудозатрат в ремонтном производстве обеспечивается комплексной механизацией и автоматизацией процессов с применением механизированных позиций и поточных линий, оборудованных локальными подъемно-транспортными механизмами, специальной оснасткой, приспособлениями и механизированным инструментом. Последующим шагом в данном направлении является внедрение промышленных роботов, положительный опыт использования которых на предприятиях железнодорожного транспорта уже получен за рубежом.

Потребность в материальных ресурсах определяется затратами материалов и комплектующих для выполнения установленной программы ремонта подвижного состава, объемом переходного запаса ре-

монтажного фонда оборудования подвижного состава), размером резервного неснижаемого фонда технологических запасов и расходами на содержание производственной инфраструктуры.

Совокупный объем материальных ресурсов, вовлеченный в технологический процесс, зависит не только от производственной программы предприятия, но и в существенной мере от системы организации производства, эффективности производственной логистики и материально-технического снабжения. Эффективным способом сокращения запасов при ремонте подвижного состава является внедрение технологий «бережливого» производства.

Комплексное снижение ресурсоемкости ремонтного производства обеспечивается сбалансированным сочетанием мероприятий по механизации и автоматизации технологических процессов, оптимизации системы производственной логистики и материально-технического снабжения в виду следующих факторов:

- увеличения производительности труда и объемов производства, что приводит к уменьшению доли условно-постоянной составляющей затрат ресурсов на единицу продукции;
- улучшения показателей эффективности использования технологического оборудования, ритмичности электропотребления, выравнивания годовых и сменных графиков нагрузки, сокращения времени холостого хода, непроизводительного расхода ТЭР в перерывах в работе;
- высвобождения и перераспределения производственных площадей, уменьшения годового фонда рабочего времени для выполнения заданной производственной программы (снижение финансовых затрат на содержание производственных площадей и персонала);
- сокращения затрат топливно-энергетических ресурсов на транспортирование ремонтируемого оборудования, материалов и комплектующих за счет, повышения коэффициента автономности и технологической замкнутости производственных участков, использования локальных грузоподъемных и передаточных механизмов, работающих в оптимальном нагрузочном режиме;
- повышения качества ремонта, снижения потерь от внутреннего возврата и внешних рекламационных претензий;
- уменьшения незавершенного производства и ускорения оборачиваемости оборотных средств за счет сокращения длительности производственного цикла.

Потребность в земельных ресурсах для размещения производственного комплекса предприятия определяется площадью основных и вспомогательных цехов, протяженностью внутренних железнодорожных путей, потребными объемами складирования и накопления материалов, ремонтного фонда и комплектующих, инфраструктурой инженерного обеспечения производства, объектами административного и социально-бытового назначения.

Производственная площадь может быть найдена из суммарной площади технологического оборудования с учетом площадей, необходимых для зон управления, обслуживания, а также площадей складирования материалов, комплектующих на рабочих местах, промежуточного складирования ремонтного фонда, путей для транспортировки узлов и деталей, размещения руководства участка, контрольно-испытательных позиций, устройств энергоснабжения.

Дополнительные площади учитываются в виде соответствующих коэффициентов запаса  $k_i^{(rx)}$  ( $k_i^{(rx)} > 1$ ), рекомендуемые значения которых приведены в соответствующей литературе [например, см. 1]:

$$S_{rx} = \sum_{i=1}^K S_i \cdot \prod_{i=1}^n k_i^{(rx)}, \quad (3)$$

где:  $S_i$  — площадь оборудования с учетом зон управления и обслуживания, м<sup>2</sup>;

$K$  — количество единиц оборудования в цехе в соответствии с принятым вариантом технологических решений.

Площадь земельного участка, занятая внутренними железнодорожными путями, зависит от количества параллельных ремонтных позиций, объема буферных накопителей подвижного состава и способа его распределения на позиции ремонта. Эффективным способом экономии земельных ресурсов при ремонте вагонов, является применение трансбордеров, как альтернатива традиционному решению с использованием стрелочных переводов.

Размер центральной склада материалов и комплектующих определяется производственной программой по ремонту подвижного состава. Площади для создания обгонных, экипировочных и прочих путей учитываются дополнительными поправочными коэффициентами.

### Список литературы:

1. Грундиг К. Проектирование промышленных предприятий: принципы, методы, практика. Пер. с нем. М.: Альпина Бизнес Букс, 2007.—340 с.
2. Данилов Н. И., Щелоков Я. М. Основы энергосбережения / Под ред. Н. И. Данилова / Уральский гос. ун-т путей сообщения. Екатеринбург, 2010. — 564 с.
3. Методика проведения энергетических обследований потребляющих устройств, обеспечивающих тягу поездов и ремонтное производство на железнодорожном транспорте: Инструктивно-методические указания комплексной системы энергетического обследования / Под общ. ред. В. Т. Черемисина / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2004. — 429 с.
4. Смирнов В. А., Талызин А. С. Энергосбережение при ремонте и техническом обслуживании локомотивов // Известия Транссиба.— 2011. — № 4. С. 41—49.

## СЕКЦИЯ 11.

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

#### ПРОЧНОСТЬ АРМОКИРПИЧНОЙ КЛАДКИ ПРИ СМЯТИИ

*Довженко Оксана Александровна*  
канд. техн. наук, доцент, ПолтНТУ имени Юрия Кондратюка,  
г. Полтава, Украина

*Пинчук Наталия Михайловна*  
канд. техн. наук, ст. преподаватель, ПолтНТУ имени Юрия  
Кондратюка, г. Полтава, Украина  
E-mail: [nataliya-pinchuk@yandex.ru](mailto:nataliya-pinchuk@yandex.ru)

Благодаря высокой прочности, долговечности, архитектурной выразительности каменные конструкции широко применяются в строительстве промышленных, гражданских и сельскохозяйственных зданий, а значит, требуют глубокого изучения.

Проблемам исследования таких конструкций (напряжённо-деформированное состояние (НДС), прочность, эксплуатация, реконструкция и усиление) посвящены работы: А. Я. Барашикова, П. Ф. Вахненко, О. А. Довженко, В. С. Дорофеева, Е. В. Клименко, А. Е. Копейко, И. Т. Котова, В. П. Митрофанова, Р. А. Мищенко, Г. А. Молодченко, Л. И. Онищика, С. В. Полякова, Н. В. Савицкого, Л. И. Стороженко, А. В. Семко, Б. С. Соколова, Л. Н. Фомицы, А. Л. Шагина, С. Л. Шаповал, В. С. Шмуклера, А. А. Шишкина, А. Ф. Яременко, Е. А. Яременко, A. Hendry, A. Page, P. Schubert, H. Glitza, и др.

Исходя из экспериментальных данных на прочность армокаменных конструкций при смятии влияют: место приложения нагрузки; геометрические размеры элементов и площадки загрузки, их соотношение; прочностные характеристики кирпичной кладки; количество и характер расположения арматурных сеток по высоте элемента; условия на опорных поверхностях.

Методика расчета прочности каменной и армокаменной кладки при местном сжатии по нормам [3, 4] базируется на результатах обработки экспериментальных исследований и не учитывает характер разрушения элементов, а также полную совокупность указанных факторов.

Альтернативным эмпирическому направлением решения задач прочности кирпичных и армированных элементов при сложных НДС, является применение вариационного метода на основе теории пластичности, который разработан в ПолтНТУ [2] и апробирован на бетонных и железобетонных элементах [1]. Его можно отнести к инженерным методам расчета, которые приводят к действительно простым зависимостям, не требуют сложных компьютерных программ и могут найти широкое распространение в практике проектирования.

Функционал метода в условиях плоского напряженного состояния:

$$J = \int_{S_l} m \left[ 2B \sqrt{1 + \frac{1}{4} \left( \frac{\Delta V_t}{\Delta V_n} \right)^2} - 1 \right] \Delta V_n ds_l - \int f_i^* V_i ds_f, \quad (1)$$

где:  $B^2 = (1 + \chi / (1 - \chi)^2) / 3$ ,  $\chi = R_t / R$ ;  $m = R - R_t$ ,

$f_i^*$ ,  $V_i^*$  — силы и скорости, заданные на участках  $S_f$  поверхности тела;

$S_l$  — поверхность разрушения;

$\Delta V_t$ ,  $\Delta V_n$  — разрывы касательной и нормальной к  $S_l$  составляющих скорости.

Расчет выполняется в такой последовательности:

1) для случая смятия, который рассматривается, принимается кинематически возможная схема разрушения, т. е. очертание поверхности разрушения, разделяющей ранее целый элемент на части, которые считаются абсолютно жесткими и совершают в стадии разрушения взаимное движение с определенными скоростями. При этом вводятся геометрические параметры  $g_i$ , определяющие поверхность разрушения, и скорости движения частей элемента  $V_j$ .

Принятая кинематически возможная схема разрушения отображает специфику НДС в стадии разрушения рассматриваемых элемента или конструкции;

2) на поверхности разрушения  $S_l$  находятся разрывы нормальной  $v_n$  и касательной  $v_t$  к  $S_l$  составляющих скорости, которые выражаются через параметры  $g_i$  и  $V_j$ ;

3) записывается функционал (1), который положителен на действительном НДС и достигает минимума равного 0;

4) находится выражение предельной нагрузки  $F_u$  через параметры  $q_i$  и отношение  $K_j = V_j / V_F$ , где  $V_F$  — скорость точки приложения внешней нагрузки;

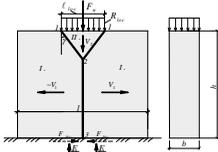
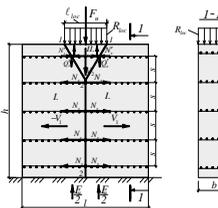
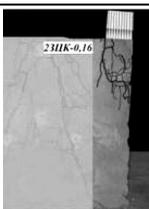
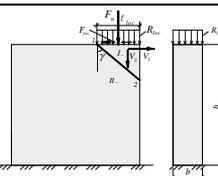
5) из условия  $F_u(g_i, K_j) = \min$  находятся неизвестные величины  $g_i$  и  $K_j$  и вычисляется предельная нагрузка.

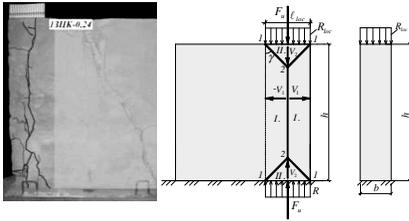
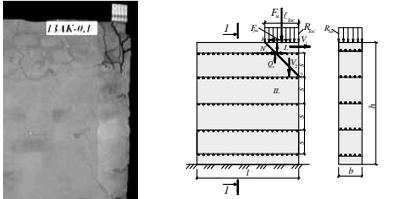
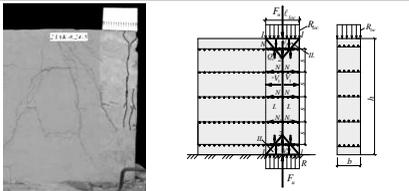
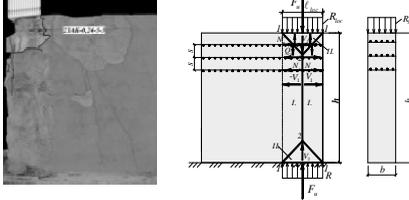
Кинематически возможные схемы разрушения и зависимости для определения предельной нагрузки для кирпичных и армокирпичных элементов при смятии в случае приложения нагрузки на всю ширину по центру и на край стены представлены в табл. 1.

Для подтверждения принятых кинематически возможных схем разрушения были изготовлены и испытаны три серии образцов [5]. В рамках первой серии исследовались кирпичные и армокирпичные стенки  $1050 \times 250 \times 1050$  мм, при местном сжатии для случая приложения нагрузки на всю ширину сечения образца по середине его длины и на край. В пределах серии варьировался параметр  $\alpha = l_{loc}/h$  ( $l_{loc}$  длина площадки нагружения,  $h$  высота образца). Армирование образцов было однотипным: сетками из проволоки  $\varnothing 4$  Вр-I с размерами ячейки  $50 \times 50$  мм, которые укладывались через 3 ряда кладки равномерно по всей высоте образца. Во второй серии размеры образцов  $630 \times 250 \times 630$  мм и площадки загрузки  $l_{loc} = 150$  мм были постоянными (параметр  $\alpha = 0,24$ ), при этом изменялся диаметр арматуры сеток ( $\varnothing 3$  Вр-I и  $\varnothing 5$  Вр-I), а также характер их размещения по высоте образца (равномерно или 1, 2, 3 сетки в каждом шве кладки непосредственно в зоне смятия). Образцы 3-й серии были изготовлены с целью получения дополнительной информации о характере работы арматуры при угловом смятии. Их размеры и местоположение сеток не отличались от образцов 2-й серии. Все сетки изготавливались из арматурной проволоки  $\varnothing 4$  Вр-I с размерами ячейки  $50 \times 50$  мм. Нагружение осуществлялось штампами двух размеров  $l_{loc} = 100$  мм и  $l_{loc} = 150$  мм, что соответствовало  $\alpha = 0,16$  и  $\alpha = 0,24$ .

Таблица 1

Кинематически возможные схемы разрушения и выражения для определения сопротивления смятию

Характер разрушения	Кинематически возможная схема разрушения	Формула для определения сопротивления смятию
1	2	3
Одностороннее центральное смятие-раскалывание кирпичного элемента		
		<p>Дано: <math>l \times b \times h</math>, <math>l_{loc}</math>, <math>R</math>, <math>R_l</math></p> <p>Неизвестные: <math>R_{loc}</math>, <math>\gamma</math>, <math>K</math></p> $\frac{R_{loc}}{m} = \frac{2B\sqrt{(K-tg\gamma)^2 + 0,25(1+Ktg\gamma)^2}}{tg\gamma(1-Kf_{fric})} - \frac{(K-tg\gamma)}{tg\gamma(1-Kf_{fric})} + \frac{R_l K(2tg\gamma/\alpha - 1)}{mtg\gamma(1-Kf_{fric})}$
Одностороннее центральное смятие-раскалывание армокирпичного элемента		
		$\frac{R_{loc}}{m} = \frac{2B\sqrt{(K-tg\gamma)^2 + 0,25(Ktg\gamma+1)^2}}{tg\gamma} - \frac{(K-tg\gamma)}{tg\gamma} + \frac{R_l K(2tg\gamma/\alpha - 1)}{mtg\gamma} + \frac{2,08zuK^2\sigma_y d^2}{mb l_{loc}} + \frac{0,6zu(1-1,75K^2)\sigma_c d^2}{mb l_{loc}} + \frac{1,57zPK\sigma_c d^2}{mb l_{loc}}$ <p>где <math>Z</math> — количество продольных стержней в одной арматурной сетке,  <math>U</math> — количество арматурных сеток по высоте клина уплотнения,  <math>P</math> — то же по высоте площадки отрыва</p>
Одностороннее угловое смятие кирпичного элемента при $\alpha \leq 0,14$		
		$\frac{R_{loc}}{m} = \frac{2B\sqrt{(K-tg\gamma)^2 + 0,25(Ktg\gamma+1)^2}}{tg\gamma(1-Kf_{fric})} - \frac{(K-tg\gamma)}{tg\gamma(1-Kf_{fric})}$

Характер разрушения	Кинематически возможная схема разрушения	Формула для определения сопротивления смятию
1	2	3
Одностороннее угловое смятие кирпичного элемента при $\alpha \geq 0,24$		$\frac{R_{loc}}{m} = \frac{2B\sqrt{(K-tg\gamma)^2 + 0,25(1+Ktg\gamma)^2} - (K-tg\gamma)}{tg\gamma} + \frac{R, K(tg\gamma/\alpha - 1)}{mtg\gamma}$
Одностороннее угловое смятие армокирпичного элемента при $\alpha \leq 0,14$		$\frac{R_{loc}}{m} = \left[ \frac{2B\sqrt{(K-tg\gamma)^2 + 0,25(Ktg\gamma+1)^2} - (K-tg\gamma)}{tg\gamma} + \frac{1,04zK^2\sigma_y d^2}{mbl_{loc}} + \frac{0,3z(1-1,75K^2)\sigma_y d^2}{mbl_{loc}} \right] / (1 - Kf_{pic})$
Одностороннее угловое смятие армокирпичного элемента при $\alpha \geq 0,24$		<p>— при равномерном расположении сеток по высоте элемента:</p> $\frac{R_{loc}}{m} = \frac{2B\sqrt{(K-tg\gamma)^2 + 0,25(Ktg\gamma+1)^2} - (K-tg\gamma)}{tg\gamma} + \frac{R, K(tg\gamma/\alpha - 1)}{mtg\gamma} + \frac{2,08zK^2\sigma_y d^2}{mbl_{loc}} + \frac{0,6z(1-1,75K^2)\sigma_y d^2}{mbl_{loc}} + \frac{0,785z\pi K\sigma_y d^2}{mbl_{loc}}$
Одностороннее угловое смятие армокирпичного элемента при $\alpha \geq 0,24$		<p>— непосредственно под площадкой нагружения:</p> $\frac{R_{loc}}{m} = \frac{2B\sqrt{(K-tg\gamma)^2 + 0,25(Ktg\gamma+1)^2} - (K-tg\gamma)}{tg\gamma} + \frac{R, K(tg\gamma/\alpha - 1)}{mtg\gamma} + \frac{1,04zK^2\sigma_y d^2}{mbl_{loc}} + \frac{0,3z(1-1,75K^2)c}{mbl_{loc}} + \frac{0,785z\pi K\sigma_y d^2}{mbl_{loc}}$

Характер разрушения кирпичных и армокирпичных образцов принципиально не отличался: под поверхностью штампа образовывался клин уплотнения, от вершины которого начинались трещины раскалывания. С увеличением отношения  $\alpha$  уменьшалась несущая способность элемента и увеличивались размеры зоны сжатия под штампом. При равномерном расположении сеток через 3 ряда кладки по высоте образца в опытах наблюдалась неравномерность работы арматуры, которая учитывается введением к пределу текучести арматурных сеток в зоне отрыва коэффициента условий работы  $\gamma_{s1} = 0,8$ . При расположении сеток непосредственно под площадкой загрузки все сетки работают равномерно и напряжения в них на момент разрушения достигают предельных. Наиболее эффективным можно считать расположение арматурных сеток непосредственно в зоне смятия на глубину до  $5l_{loc}$  (не меньше 3-х).

При одностороннем угловом смятии в опытах наблюдалось два характерных вида разрушения кирпичных образцов: путем среза и в результате разрушения столбика под поверхностью штампа, который предварительно условно отделяется от массива кладки. Характер разрушения армокирпичных элементов зависел от параметра  $\alpha$ , армирования и условий на опорных поверхностях ( $f_{fric}$ ). В пределах выполненного эксперимента при  $\alpha \leq 0,14$  разрушение происходило путем среза, при  $\alpha \geq 0,24$  — в результате разрушения столбика, при  $0,14 < \alpha < 0,24$  наблюдались как срез так и раскалывание. Независимо от характера расположения сеток арматура по высоте работает неравномерно — лишь в верхней сетке напряжения достигают предела текучести, поэтому усилие в других сетках нужно учитывать с коэффициентом  $\gamma_{s1} = 0,8$ . Нецелесообразно армирование только одной сеткой под площадкой загрузки. Наиболее эффективным является размещение арматурных сеток в пределах клина уплотнения на глубину до  $2l_{loc}$ .

Сравнительный анализ теоретической прочности, рассчитанной согласно предложенной методике, с экспериментальной для 95 образцов (39 из которых принадлежат авторам), показал их достаточную сходимость. Статистические характеристики для кирпичных и армокирпичных элементов при местном одностороннем центральном и угловом смятии следующие:  $\bar{x} = 0,94$ ,  $\sigma_{n-1} = 0,203$ ,  $C_v = 21,7\%$ .

Для анализа были использованы экспериментальные данные с сопротивлением кирпичной кладки сжатию  $R=1,2-6,64 \text{ МПа}$ , соотношением  $\alpha \approx 0,04-0,46$  и процентом армирования  $\mu_s = 0-0,35\%$ .

На основе вариационного метода теории пластичности предложена к применению методика расчета прочности армированной кирпичной кладки при смятии, которая базируется на рассмотрении характера разрушения элементов и учитывает влияние обеих прочностных характеристик кладки (на сжатие  $R$  и растяжение  $R_t$ ), параметра  $\alpha = l_{loc}/h$ , сил трения на опорных поверхностях и характера армирования. В отличие от норм, осуществляется отдельный учет рабочей арматуры, расположенной в пределах зон отрыва и сдвига. Для арматуры, расположенной в зоне сдвига, учитывается кроме растяжения, изгиб, влиянием которого действующие нормы пренебрегают.

### Список литературы:

1. Довженко О. А. Прочность бетонных и железобетонных элементов при местном приложении сжимающей нагрузки: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 /Полтавський державний технічний університет імені Юрія Кондратюка.— Полтава: ПДТУ, 1993. — 222 с.
2. Митрофанов В. П. Теория идеальной пластичности как элементарная механика псевдопластического предельного состояния бетона: основы, ограничения, практические аспекты, совершенствование / В. П. Митрофанов // Комунальное хозяйство городов Республиканский межведомственный научно-технический сборник. — Вып. 72. — К.: Техніка. — 2006.— С. 6—26.
3. СНиП II — 22 — 81. Каменные и армокаменные конструкции. — М.: Стройиздат. — 1983. — 39 с.
4. ДБН В.2.6 162:2010 Кам'яні та армокам'яні конструкції. К.: Мінрегіонбуд. 2011. 98 с.
5. Пінчук Н. М. Міцність армоцегляної кладки при місцевому прикладанні стискаючого навантаження: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.01 / Н. М. Пінчук — Полтава: ПолтНТУ, 2009. — 168 с.

# РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ КРИТЕРИЕМ ПРОЧНОСТИ

*Шкуруний Александр Анатоліевич*

*канд. техн. наук, доцент, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина*

*E-mail: [shbm@ukr.net](mailto:shbm@ukr.net)*

*Лазарева Елена Николаевна*

*аспирант, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина*

*E-mail: [lazaryeva\\_alyna@mail.ru](mailto:lazaryeva_alyna@mail.ru)*

**Постановка проблемы и задачи исследования.** Статически неопределимые железобетонные конструкции (ЖБК), в частности неразрезные балки, достаточно широко применяются в различных зданиях и сооружениях как несущие конструкции. Поэтому исследование их работы и совершенствование методики расчета таких конструкций является достаточно важным вопросом в нынешней тенденции развития железобетона.

Применение деформационной модели (ДМ) для расчета прочности и несущей способности ЖБК и их элементов, а также для подбора арматуры в растянутой или сжатой зонах нормального сечения, дает возможность более точно учесть напряженно-деформированное состояние (НДС) на разных стадиях их работы, в том числе и в предельном состоянии. Как отмечено в работах [9, 10], деформационная модель с экстремальным критерием прочности (ДМ с ЭКП) имеет значительные преимущества перед существующими ДМ, которые нуждаются в совершенствовании, особенно для расчета статически неопределимых ЖБК. ДМ с ЭКП является существенно новым подходом для расчета прочности и несущей способности ЖБК и их элементов. Она основана на уравнениях механики деформированного твердого тела (МДТТ) и при учете нисходящей ветви полной диаграммы сжатия (ПДС) бетона, которая отображает процесс снижения несущей способности в результате роста степеней его разрушения, и зон упрочнения диаграмм арматурных сталей в сочетании с оптимизационными и численными методами дает возможность аналитически получить характеристики НДС элемента ЖБК в нормальном сечении.

Полнота ДМ с ЭКП обуславливает необходимость тщательного контроля значений всех предельных параметров НДС элементов ЖБК, в особенности напряжение в растянутой  $\sigma_s$  и сжатой  $\sigma'_s$  арматуре, поскольку расчетные зависимости существенно отличаются в диапазонах ее упругой и не упругой работы, прежде всего в перearмированных конструкциях. Поэтому ограниченный контроль параметров НДС может привести к результатам, которые не отвечают действительности. На основе ДМ с ЭКП и разработанной оптимизационной методики [9, 10] можно решать широкий круг задач при расчете ЖБК (балок, колонн, рам и т. п.). Она дает возможность рассчитывать прочность железобетонных элементов (ЖБЭ) в нормальном сечении при использовании широкого спектра классов прочности бетона на сжатие ( $f_{ck,cube}$ ), в том числе и высокопрочных бетонов [8].

Исходя из вышеизложенного, проведение теоретических и экспериментальных исследований для изучения работы статически неопределимых ЖБК с учетом перераспределения усилий при образовании в характерных сечениях условных пластических шарниров [7] и определения значений соответствующих им изгибающих моментов, а также предельной нагрузки с использованием метода предельного равновесия [1] является актуальной задачей.

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья.** Для расчета прочности нормальных сечений ЖБЭ необходимо дополнительное условие. Таким условием может быть условие прочности по бетону:

$$\varepsilon_{cm} \leq \varepsilon_{cu} \quad (1)$$

и условие прочности по арматуре

$$\varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}, \quad (2)$$

где: соответственно  $\varepsilon_{cm}$ ,  $\varepsilon_s$  — деформации наиболее сжатого волокна бетона и растянутой арматуры ЖБЭ, которые возникают от внешней нагрузки,  $\varepsilon_{cu}$ ,  $\varepsilon_{su}$  — предельные деформации наиболее сжатого волокна бетона и растянутой арматуры.

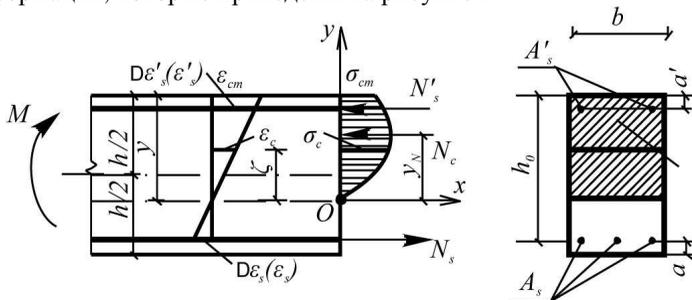
На сегодняшний день, ни одна из существующих ДМ, кроме ДМ с ЭКП, не дает возможности рассчитывать прочность и несущую способность ЖБК и их элементов, которые работают на различные виды деформирования (изгиб, центральное и внецентренное сжатие или растяжение и т. п.) без наперед заданного значения  $\varepsilon_{cu}$  [2, 3, 12]. Они нуждаются в данных экспериментальных исследований, в том числе и экспериментальном определении  $\varepsilon_{cu}$ . В действительности,

$\varepsilon_{cu}$  является критериальной характеристикой, которая зависит от многих факторов, основными из которых являются: класс прочности бетона на сжатие, форма поперечного сечения, класс арматурной стали и ее расположение по сечению. Только ДМ с ЭКП дает возможность аналитически получить величину  $\varepsilon_{cu}$  в результате расчета с использованием методики приведенной в работах [9, 10].

**Целью работы** является расчет прочности и несущей способности неразрезных железобетонных балок с использованием ДМ с ЭКП из бетонов разной прочности на сжатие, армированных стержневой арматурой, нагруженных сосредоточенными силами в пролетах и сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными, приведенными в работах [4, 5, 6].

**Изложение основного материала.** Теоретические исследования ограничивались задачей расчета прочности и несущей способности железобетонных неразрезных балок с применением ДМ с ЭКП, оптимизационных и численных методов [10], а также метода предельного равновесия [1].

Расчетные положения приведены в работе [9]. Состояние разрушения нормального сечения описывается расчетными схемами усилий и деформаций, которые приведены на рисунке 1.



**Рис. 1. Расчетные схемы для расчета прочности нормального сечения ЖБЭ**

Расчетные зависимости:

1. *Физические:*

а) для бетона — ПДС представлена в виде аппроксимации рекомендованной в нормах [2, 12] (рис. 2, а):

$$\sigma_c = f_{ck,prism} \left( K\eta - \eta^2 \right) / \left[ 1 + (K - 2)\eta \right], \quad (3)$$

где: уровень деформации  $\eta$  и параметр деформативно-прочностных свойств бетона  $K$  определяются по формулам

$$\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_f = \alpha \zeta / y, \quad K = 1,1 E_{cm} \varepsilon_f / f_{ck,prism}, \quad (4)$$

$E_{cm}$  — начальный модуль упругости бетона ( $E_{cm} = 12,7 \cdot \ln(f_{ck,cube}) - 11$ );  
 $f_{ck,prism}, \varepsilon_f$  — напряжение и деформация в максимуме кривой  
 $\sigma_c - \varepsilon_c$  (рис. 2, а)

$$f_{ck,prism} = 0,8 (f_{ck,cube})^{0,973}.$$

Аналитические выражения для  $E_{cm}$  и  $f_{ck,prism}$  приведенные в работе [8].

Деформация  $\varepsilon_f$  определяется по формуле

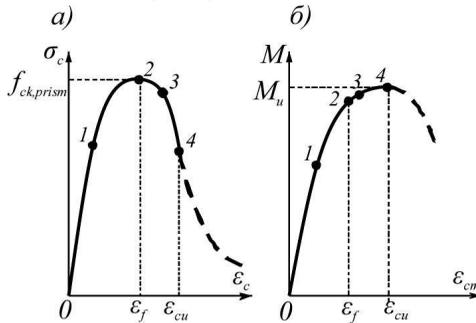
$$\varepsilon_f = 70 \cdot 10^{-5} (f_{ck,prism})^{0,31}, \quad (5)$$

б) для арматуры аналитические выражения диаграммы растяжения (сжатию) разделены на два известных типа: с физическим пределом текучести  $\sigma_y$  и с условным пределом текучести  $\sigma_{0,2}$  (рис. 3).

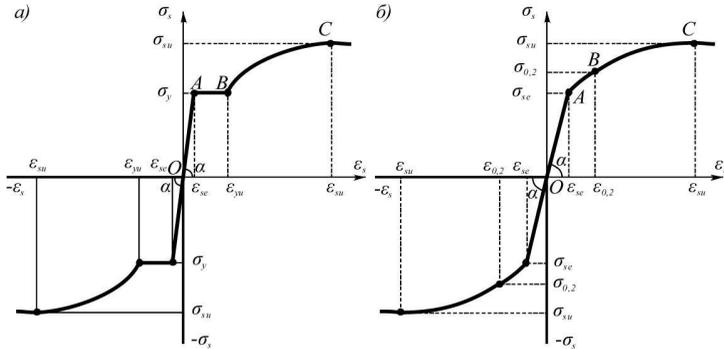
На интервале ВС (рис. 3 а)  $\varepsilon_{yu} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}$  зона упрочнения аппроксимируется параболой

$$\sigma_s = \frac{\sigma_{su}}{(1 - \varepsilon_{yu} / \varepsilon_{su})^2} - \left[ \left( 1 - \frac{\sigma_y}{\sigma_{su}} \right) \left( 2 - \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{su}} \right) \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{su}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{su}} + \left( \frac{\varepsilon_{yu}}{\varepsilon_{su}} \right)^2 - 2 \frac{\varepsilon_{yu}}{\varepsilon_{su}} \right], \quad (6)$$

где:  $\varepsilon_{yu}$  — деформация в конце площадки текучести (точка В)  
 $\sigma_{su}, \varepsilon_{su}$  — напряжение (предел прочности) и деформация в точке максимума С диаграммы  $\sigma_s - \varepsilon_s$  (рис. 3, а).



**Рис. 2 Допредельные (1,2,3) и предельное (4) состояния на диаграмме сжатия бетона (а) и кривой «момент в сечении — деформация сжатой грани бетона» (б)**



**Рис. 3** Диаграммы растяжения (сжатия) арматурных сталей с физическим (а) и условным (б) пределом текучести

Для арматуры с условным пределом текучести применяется линейно-двупараболическая аппроксимация диаграммы растяжения (сжатия) [10]

$$\begin{cases} 0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{se}, & \sigma_s = E_s \varepsilon_s, \\ \varepsilon_{se} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{0,2}, & \sigma_s = -\alpha \varepsilon_s^2 + \beta \varepsilon_s + \gamma, \\ \varepsilon_{0,2} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}, & \sigma_s = -a \varepsilon_s^2 + b \varepsilon_s + c, \end{cases} \quad (7)$$

в которой

$$\begin{cases} \alpha = p - q, & \beta = 2p\varepsilon_{0,2} - q(\varepsilon_{se} + \varepsilon_{0,2}), & \gamma = \sigma_{0,2} - p\varepsilon_{0,2}^2 + q\varepsilon_{se}\varepsilon_{0,2}, \\ p = (\varepsilon_{0,2} - \varepsilon_{se}) / (\varepsilon_{0,2} - \varepsilon_{se})^2, & q = \sigma'_{0,2} / (\varepsilon_{0,2} - \varepsilon_{se}), \\ \sigma'_{0,2} = -2 \cdot a \cdot \varepsilon_{0,2} + b, \end{cases} \quad (8)$$

$$a = (\sigma_{su} - \sigma_{0,2}) / (\varepsilon_{su} - \varepsilon_{0,2})^2, \quad b = 2a\varepsilon_{su}, \quad c = \sigma_{su} - a\varepsilon_{su}^2, \quad (9)$$

где: исходными параметрами арматуры являются: модуль упругости  $E_s$ , предел пропорциональности  $\sigma_{se}$ , условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , предел прочности  $\sigma_{su}$  и соответствующие им деформации —  $\varepsilon_{se}$ ,  $\varepsilon_{0,2}$ ,  $\varepsilon_{su}$ .

2. *Геометрические.* Зависимости определялись с использованием гипотезы плоских сечений, что позволяет выразить через деформацию  $\varepsilon_{cm}$  деформации сжатой зоны бетона  $\varepsilon_c$  на уровне волокон с координатой  $\zeta$  а также деформации растянутой и сжатой арматуры (рис. 1):

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{cm} \cdot \zeta / y ; \quad (10)$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cm} \cdot (h_0 / y - 1) ; \quad (11)$$

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_{cm} \cdot (1 - a' / y) , \quad (12)$$

где:  $y$  — высота сжатой зоны бетона,  $a'$  — расстояние от равнодействующей в арматуре сжатой зоны бетона до ближайшей грани сечения,  $h_0$  — рабочая высота сечения. Приняв обозначение  $\alpha = \varepsilon_{cm} / \varepsilon_f$ , получим, что  $\eta = \alpha \zeta / y$ , где  $\alpha$  — относительная деформация сжатой грани бетона ЖБЭ в нормальном сечении.

3. Уравнения равновесия.

$$\sum X = 0; \quad \sigma_s \cdot A_s - N_c - \sigma'_s \cdot A'_s = 0, \quad (13)$$

$$\sum M_O = 0; \quad M - N_c \cdot y_N - \sigma'_s \cdot A'_s \cdot (y - a') - \sigma_s \cdot A_s \cdot (h_0 - y) = 0. \quad (14)$$

$$N_c = \iint_{A_c} \sigma_c(\alpha, \zeta) dx d\zeta = b \int_0^y \sigma_c(\alpha, \zeta) d\zeta = N_c(\alpha, y), \quad (15)$$

$$y_N = \left( \iint_{A_c} \sigma_c(\alpha, \zeta) \zeta dx d\zeta \right) / N_c = \left( b \int_0^y \sigma_c(\alpha, \zeta) \zeta d\zeta \right) / N_c = y_N(\alpha, y) \quad (16)$$

Используя зависимости (3)—(14), с учетом (15) и (16) получим систему уравнений с неизвестными  $M, \alpha, y$ . Для определения неизвестных используем (13), (14) и дополнительное условие (17) в виде ЭКП нормального сечения элемента ЖБК (рис. 2, б)

$$M(\varepsilon_{cu}) = \max M(\varepsilon_{cm}). \quad (17)$$

В результате получим оптимизационную задачу нелинейного математического программирования на условный экстремум с целевой функцией (17) при ограничениях-равенствах (13), (14) которая решается с использованием ПЭВМ по специально разработанной авторами прикладной программе в OS Windows.

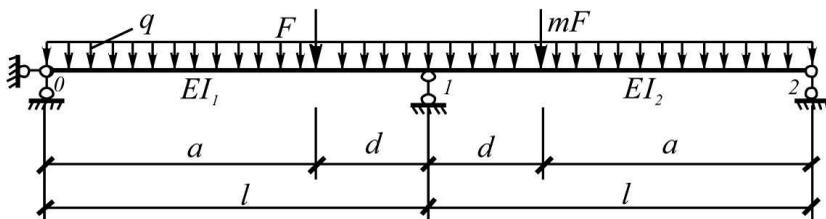
Теоретические расчеты прочности железобетонных неразрезных балок сравнивались с экспериментальными данными исследований [4, 5, 6], которые проводились на балках с соотношением длины пролета  $\ell$  к высоте сечения  $h$  больше 10. Сечения балки имели прямоугольную форму с постоянными геометрическими размерами по всей длине. Данное условие дает возможность пренебрегать влиянием поперечных сил при расчете прочности и несущей способности балки. Шаг хомутов принимался таким образом, что балки разрушались по нормальными сечениям.

В работах [4, 5] использовались балки с  $\ell = 2,7\text{ м}$  в качестве продольной арматуры использовались высокопрочные арматурные стержни класса А-IV, марки 80С с условным пределом текучести.

В работе [6] балки имели пролеты по 3 м с размерами поперечного сечения  $b \times h = 170 \times 220\text{ мм}$ . В качестве продольной арматуры использовались арматурные стержни класса А-III (марки 35ГС) с минимальным значением предела текучести  $\sigma_y = 400\text{ МПа}$ .

Призменная прочность бетона для железобетонных неразрезных балок этой серии составляла  $f_{ck,prism} = 29,2\text{ МПа}$  а начальный модуль упругости —  $E_{cm} = 30,4 \cdot 10^3\text{ МПа}$ .

Расчетная схема неразрезных балок [4, 5, 6] изображена на рисунке 4, где  $q$  — интенсивность равномерно распределенной нагрузки от собственного веса конструкции,  $m$  — коэффициент соотношения между сосредоточенными силами.



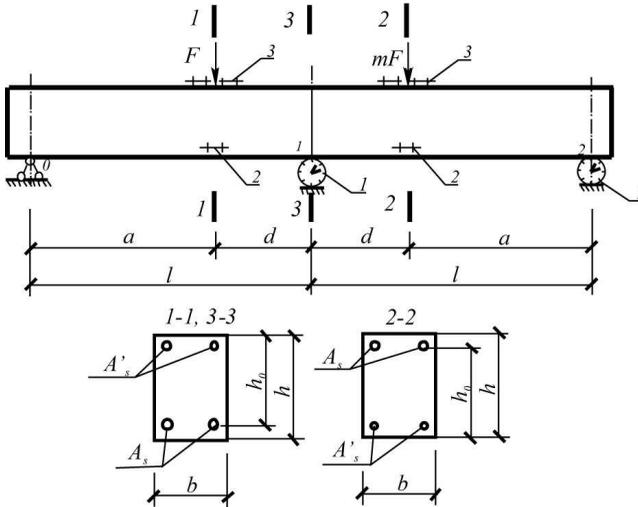
**Рис. 4** Расчетная схема балки

Для сравнения теоретических расчетов несущей способности неразрезных балок, полученных по предлагаемой методике с использованием метода предельного равновесия [1], с экспериментальными данными, использовались те же физико-механические характеристики материалов, геометрические размеры, характер армирования сечений, которые приведены в работах [4, 5, 6]. Размещение расчетных сечений неразрезных балок и измерительных приборов, а также характер их армирования показано на рисунке 5.

В экспериментальных образцах приведенных в публикациях [4, 5]  $a = 1,8\text{ м}$ ,  $d = 0,9\text{ м}$ ,  $m = 1$ . В работе [6] для балок разных серий  $a = d = \ell/2 = 1,5\text{ м}$ ,  $m = 1,45 \dots 1,49$ . Значения предельных изгибающих моментов в пролетах и на опоре (рис. 6) вычислены по методике ДМ с ЭКП с использованием специально разработанной авторами прикладной программы для ПЭВМ. Учитывая схему расположения

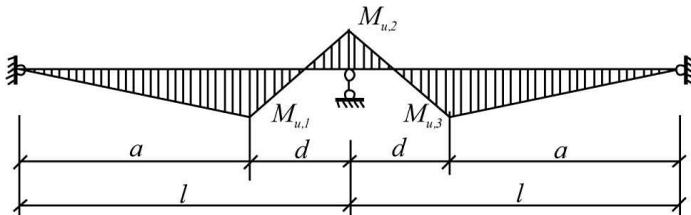
нагрузки и исходя из равенства балочных моментов, значения теоретических предельных нагрузок определяли из зависимости

$$F_{\delta \text{ ä ä } \delta} = \frac{M_{u,1} + M_{u,2} \cdot a/\ell}{ad} \ell. \quad (18)$$



**Рис. 5. Характер армирования и схема расположения измерительных приборов и расчетных сечений балок:**  
**1 — кольцевой динамометр; 2—тензометр для арматуры (база 100 мм); 3 — тензометр для бетона (база 100 мм)**

Используя метод предельного равновесия [1], получим предельные значения сосредоточенных сил в пролетах балки. Их величины в сравнении с данными экспериментов опубликованных в работах [4, 5, 6] приведены в таблицах 1 и 2.



**Рис. 6. Эпюра изгибающих моментов балки в предельном состоянии**

По результатам расчетов, величины предельных изгибающих моментов в сечениях 1 и 2 для балок обеих серий (Б-4 и Б-5) [6] равняются соответственно  $M_{u,1} = 26,39 \text{ кНм}$ ,  $M_{u,3} = 40,24 \text{ кНм}$ . Расчетные значения предельных изгибающих моментов на опоре 1 (сечение 3) разные, потому что в этом сечении различное продольное армирование балок серий Б-4 и Б-5. Их значения равняются  $M_{u,2} = 20,72 \text{ кНм}$  (Б-4) и  $M_{u,2} = 43,76 \text{ кНм}$  (Б-5).

**Таблица 1**

**Сопоставление теоретических и экспериментальных значений предельных нагрузок по данным приведенным в работе [6]**

Серия экспериментальных балок [1]	Экспериментальные значения предельной нагрузки, кН		Расчетные значения предельной нагрузки, кН		$\frac{F_{u1,y}}{F_{u1,\delta}}$	$\frac{F_{u2,y}}{F_{u2,\delta}}$
	$F_{u1,y}$	$F_{u2,y}$	$F_{u1,\delta}$	$F_{u2,\delta}$		
Б-4	46,87	68,14	49,00	67,47	0,96	1,01
Б-5	66,37	98,60	64,36	82,83	1,03	1,19
Средняя относительная погрешность, %						4,70

**Таблица 2**

**Сопоставление экспериментальных и теоретических значений предельных изгибающих моментов и нагрузок по данным приведенным в работах [4, 5]**

№ серии	Шифр образца	Опорный		$\frac{\dot{\lambda}^i}{\dot{\lambda}^i}$ $\frac{y_{\delta \ddot{a} \delta}^i}{y_{\delta \ddot{a} \delta}^i}$	Пролетный		$\frac{\dot{\lambda}^i}{\dot{\lambda}^i}$ $\frac{y_{\delta \ddot{a} \delta}^i}{y_{\delta \ddot{a} \delta}^i}$	$F_{y \delta \ddot{a} \delta}^i$	$F_{\delta \ddot{a} \delta}^i$	$\frac{F_{y \delta \ddot{a} \delta}^i}{F_{\delta \ddot{a} \delta}^i}$
		$M_{y \delta \ddot{a} \delta}^i$	$M_{\delta \ddot{a} \delta}^i$		$M_{y \delta \ddot{a} \delta}^i$	$M_{\delta \ddot{a} \delta}^i$				
		кНм		кНм		кН				
I	БОИ-1А	47,1	36,74	1,28	34,6	36,42	0,95	110,5	101,7	1,09
	БОИ-1Б	42,8	36,11	1,19	38,7	37,88	1,02	112	103,5	1,08
	БОИ-2А	41,1	32,02	1,28	31,5	31,53	1,00	100	88,31	1,13
	БОИ-2Б	40,6	31,6	1,28	34,5	33,21	1,04	103,1	90,63	1,14
II	БВИ-3А	59	51,08	1,15	51	51,64	0,99	150,6	143,1	1,05
	БВИ-3Б	60,3	51,28	1,18	49	52,4	0,94	148,7	144,6	1,03
	БВИ-4А	35,4	30,56	1,16	30,9	30,96	1,00	93,7	85,73	1,09
	БВИ-4Б	33	30,64	1,08	29,3	32,19	0,91	88,3	87,86	1,00
III	БВУ-5А	54,5	44,14	1,23	41	46,02	0,89	136	126	1,08
Среднеарифметическое значение										1,08
Среднеквадратичное отклонение										0,039
Коэффициент вариации, %										3,63
Коэффициент асимметрии										-0,13
Коэффициент эксцесса										-0,46

## **Выводы**

1. ДМ с ЭКП основывается на уравнениях МДТТ (статических, геометрических, физических), учитывает реальные диаграммы работы материалов и в сочетании с ЭКП дает возможность решать практические инженерные задачи.

2. Такой подход в совокупности с численными и оптимизационными методами, позволяет анализировать полный комплекс предельных параметров нормальных сечений в стадии разрушения, дает возможность определить предельные значения изгибающих моментов в сечениях, в которых образуются условные пластические шарниры и с использованием метода предельного равновесия учитывать перераспределение усилий в статически неопределимых системах и определять предельные нагрузки.

3. Статистический анализ сравнения теоретических и экспериментальных данных расчета прочности и несущей способности неразрезных железобетонных балок, которые приведены в таблицах 1 и 2 свидетельствуют о хорошей сходимости соотношений расчетных значений предельных нагрузок с экспериментальными.

## **Список литературы:**

1. Гвоздев А. А. Расчёт несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. Сущность метода и его обоснование — М.: Госстройиздат, 1949. — 280 с.
2. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції — К.: Мінрегіонбуд України, 2011. — 72 с.
3. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону — К.: Мінрегіонбуд України, 2010. — 168 с.
4. Крылов С. М., Гуца Ю. П., Абаканов М.С. Несущая способность статически неопределимых железобетонных балок из бетонов прочностью до 90 МПа, армированных высокопрочной стержневой арматурой // Поведение бетонов и элементов железобетонных конструкций при воздействии различной длительности. Под ред. А. А. Гвоздева, С. М. Крылова — М.: НИИЖБ, 1980. — С. 102—119.
5. Крылов С. М., Гуца Ю. П., Абаканов М. С. Перераспределение усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях, армированных сталями без площадки текучести // Прочность, жесткость и трещиностойкость железобетонных конструкций. — М.: НИИЖБ, 1979. — С. 171—186.
6. Оатул А. А., Чирков В. П. Исследование естественного распределения усилий в неразрезных железобетонных балках с ненапрягаемой арматурой при длительном действии эксплуатационной нагрузки // Исследования по

- бетону и железобетону. Сборник трудов № 34 Челябинского политехнического института. — Челябинск: ЧОТУП, 1965. — С. 116—135.
7. Тихий М., Ракошник Й. Расчёт железобетонных конструкций в пластической стадии. // Перераспределение усилий; пер. с чешск. — М.: Стройиздат, 1976. — 198 с.
  8. Шкурупій О. А., Бабиш Є. М. Аналітичне визначення фізико-механічних характеристик бетону // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. — Рівне: НУВГП, 2011. — Вип. 21. — С. 401—407.
  9. Шкурупій О. А. Міцність залізобетонних конструкцій та їх елементів на основі деформаційної моделі з екстремальним критерієм // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). — Вип. 74: В 2-х кн.: Книга 1. — Київ, ДП НДІБК, 2011. — С. 605—614.
  10. Шкурупій О. А., Лазарев Д. М. Використання чисельних і оптимізаційних методів для розрахунку міцності нормальних перерізів залізобетонних елементів на основі деформаційної моделі з екстремальним критерієм // Коммунальное хозяйство городов: сб. науч. тр. — Вип. 76. — К.: Техника, 2007. — С. 71—79.
  11. Шкурупій О.А., Лазарева О.М. Розрахунок міцності статично невизначуваних залізобетонних конструкцій // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць — Рівне: НУВГП, 2011 — Вип.22. — С. 518—525.
  12. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. EN 1992 — 1.1: General Rules and Rules for buildings. — Brussels: CEN, 2004.—226 p.

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ**

Материалы международной заочной научно-практической  
конференции

19 марта 2012 г.

Под редакцией канд. техн. наук Якова Аркадьевича Полонского

Подписано в печать 26.03.12. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 9,625. Тираж 550 экз.

Издательство «Сибирская ассоциация консультантов»  
630075, г. Новосибирск, Залесского 5/1, оф. 605  
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3