



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

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

№ 2 (39)  
Февраль 2015 г.

Издается с октября 2011 года

Новосибирск  
2015

УДК 62  
ББК 30  
Т 38

Ответственный редактор: Гулин А.И.

Председатель редакционной коллегии:

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

**Романова Алла Александровна** — канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной физики Санкт-Петербургского государственного экономического университета.

**Т 38 Технические науки — от теории к практике / Сб. ст. по материалам XLIII междунар. науч.-практ. конф. № 2 (39). Новосибирск: Изд. «СибАК», 2015. 88 с.**

Учредитель: НП «СибАК»

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

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

## **Оглавление**

### **Секция 1. Информатика, вычислительная техника и управление 5**

- МЕТОД ПОПОЛНЕНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ИНС  
ДЛЯ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДОМ  
ВЫПУКЛЫХ ОБОЛОЧЕК 5  
Еловский Дмитрий Александрович

### **Секция 2. Энергетика и энергетические техника и технологии 13**

- ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ  
ПОЛЕМ НА ПОТОК СЕМЯН В ПРОЦЕССЕ ИХ ВЫСЕВА 13  
Васильев Сергей Иванович

- ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ  
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ. 19  
ПРИМЕНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ МНОГОГРАННЫХ ОПОР  
Хамидуллин Искандер Наилевич  
Сабитов Линар Салихзянович  
Ильин Владимир Кузьмич  
Кузнецов Иван Леонидович

### **Секция 3. Материаловедение и металлургическое оборудование и технологии 26**

- ТЕХНОЛОГИЯ МОКУМЕ ГАНЕ В СОВРЕМЕННЫХ  
ЮВЕЛИРНЫХ УКРАШЕНИЯХ 26  
Баранова Ольга Константиновна  
Чалова Екатерина Игорьевна  
Баранова Александра Ивановна

- РОЛЬ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В РАЗВИТИИ  
КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ 34  
ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ  
ГАЗОПРОВОДОВ  
Волгина Наталья Ивановна  
Конакова Марина Анатольевна  
Хламкова Светлана Сергеевна  
Шарипзянова Гюзель Харрясовна

<b>Секция 4. Строительство и архитектура</b>	<b>42</b>
МЕТОДИКА СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ	42
Амоян Миша Фрикович Алиев Ариз Алихан оглы Ким Алексей Юрьевич	
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ УТИЛИЗАЦИИ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА В КАЧЕСТВЕ АКТИВНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ	47
Кравцов Алексей Владимирович Цыбакин Сергей Валерьевич Пронина Светлана Игоревна	
<b>Секция 5. Химическая техника и технология</b>	<b>53</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОАДГЕЗИОННОЙ РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО И ИЗОПРЕНОВОГО КАУЧУКОВ	53
Мустафаева Рена Эльдаровна	
<b>Секция 6. Технология продовольственных продуктов</b>	<b>59</b>
ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ОБРАБОТКИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ХРАНЕНИЯ ГРАНАТОВОГО СОКА НА СОХРАННОСТЬ АНТОЦИАНОВ	59
Гафизов Гариб Керим оглы Гафизов Самир Гариб оглы	
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ГРЕЧНЕВОЙ МУЧКИ	73
Никифорова Тамара Алексеевна Хон Ирина Александровна	
<b>Секция 7. Приборостроение, метрология, радиотехника</b>	<b>79</b>
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАДИОГОЛОГРАФИИ В ЗАДАЧАХ СОВРЕМЕННОЙ РАДИОЛОКАЦИИ	79
Фомичёв Николай Иванович Артёмов Константин Серафимович Артёмова Татьяна Константиновна	

## СЕКЦИЯ 1.

### ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

#### МЕТОД ПОПОЛНЕНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ИНС ДЛЯ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДОМ ВЫПУКЛЫХ ОБОЛОЧЕК

*Еловский Дмитрий Александрович*

*ведущий инженер, ЗАО «Связь-Инжиниринг»,  
РФ, г. Москва*

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

#### GAINING TRAINING SAMPLE FOR ANN FOR BIOMETRIC PARAMETERS BASED ON CONVEX HULL

*Elovsky Dmitry*

*lead Engineer, CJSC Svyaz engineering,  
Russia, Moscow*

#### АННОТАЦИЯ

В статье описывается метод пополнения обучающей выборки искусственной нейронной сети для идентификации биометрических образов, основанный на использовании выпуклых оболочек. Приведено описание метода и сравнение с подобным методом параллелепипеда.

#### ABSTRACT

The article describes the method of gaining training sample for artificial neural network for biometric identification, based on using convex hulls. A description of the method and its comparison with a similar box method are reported.

**Ключевые слова:** нейронные сети; выборка; выпуклые оболочки.

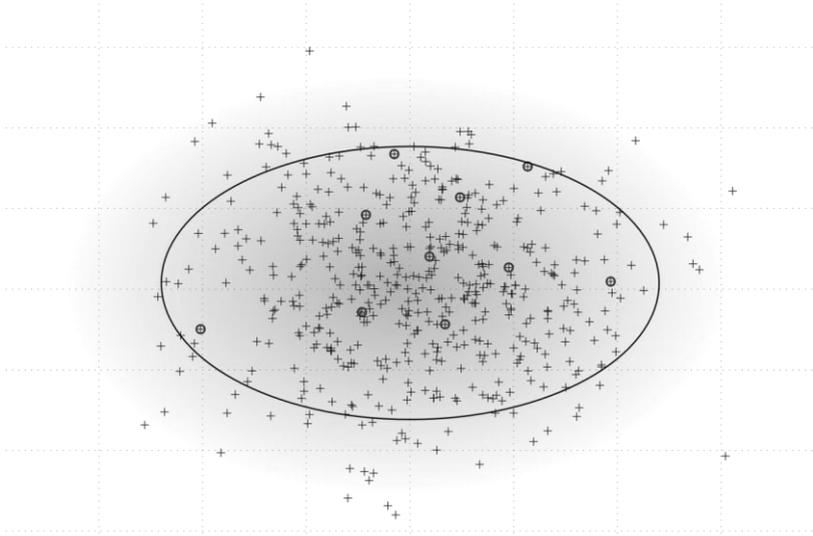
**Keywords:** artificial neuron network; training sample; convex hull.

### **Введение**

Большинство современных способов идентификации и аутентификации личности используют алгоритмы нечёткой логики, в частности, нейронные сети [1; 2]. Последние требуют для корректной работы наличие набора обучающих данных — обучающую выборку — некоторый набор входных образов для обучения сети. Входные образы для нейронных сетей, решающих задачи подобного класса, имеют размерность больше 20, что влечёт за собой необходимость большого объёма данных для обучения. Налицо проблема формирования этой самой обучающей выборки. Распространён подход, при котором в процессе работы сети, правильно классифицированные образы добавляются к обучающим, и через какое-то время сеть снова обучают уже на новом, пополненном наборе входных образов. Это снижает ошибки первого и второго рода в процессе работы сети, однако на начальном этапе недостаточность выборки приводит к большому проценту ошибок обоих родов, причём второго (идентификация не зарегистрированного пользователя) критичнее, чем первого.

### **Задача идентификации/аутентификации**

Задача идентификации/аутентификации по сути является задачей классификации: определения принадлежности входного вектора к одному из двух классов: «свой» и «чужой». Компонентами входного  $n$ -мерного вектора для подобных сетей являются значения биометрических показателей, распределённых *нормально* [2]. Вследствие этого, векторы в  $n$ -мерном пространстве образуют некоторый *гиперэллипсоид рассеивания*. Для данного гиперэллипсоида можно указать «границу доверия», т. е. область, внутри которой находятся образы с достаточной вероятностью принадлежащие классу «свой». Образы, находящиеся за его пределами, имеют среднеквадратичное отклонение больше заданного, и не принадлежат данному классу, по крайней мере, на первом этапе обучения сети.

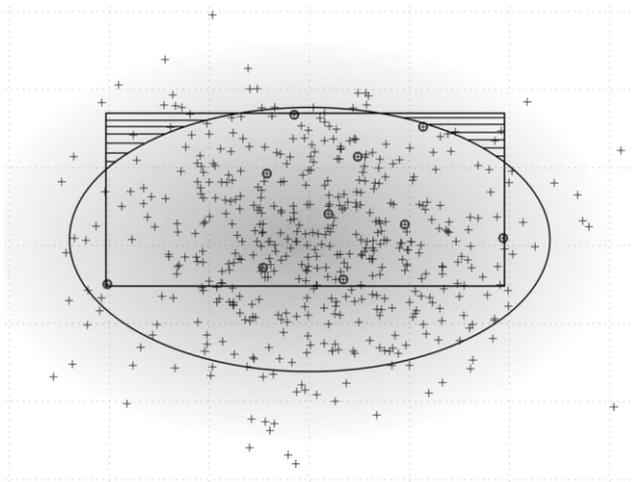


**Рисунок 1. Гиперэллипсоид рассеивания и «граница доверия»**

Рассмотрим два метода получения обучающих образов: параллелепипеда и выпуклых оболочек. Для простоты рассмотрим случай с двумя биометрическими показателями, выводы без труда распространяются и на пространства больших размерностей. Возьмём готовый набор  $D$ , состоящий из  $N = 500$  образов (на рисунках будем обозначать их маркерами «+»). Это полный набор образов, т. е. это — все образы, полученные в процессе работы сети. Выберем  $n = 10$  случайных образов из  $D$ , которые будут составлять исходную обучающую выборку  $T$  (обозначим её элементы маркерами «o»). На рисунке 1 изображены элементы  $D$  и  $T$ . Градиентом показан эллипсоид рассеивания, а границей эллипса — граница «области доверия».

#### **Метод параллелепипеда**

Данный метод является наиболее простым способом получения новых входных образов. Метод заключается в следующем: в выборку включают точки, лежащие внутри гиперпараллелепипеда, описывающего «границу доверия». Рёбра гиперпараллелепипеда параллельны осям координат. Так как «граница доверия» априори не известна, то гиперпараллелепипед строится так, что каждая из его граней содержит хотя бы одну точку из  $T$ , а все точки из  $T$ , не лежащие на гранях, лежат внутри этого гиперпараллелепипеда. На рисунке 2 показано построение гиперпараллелепипеда для двумерного случая.



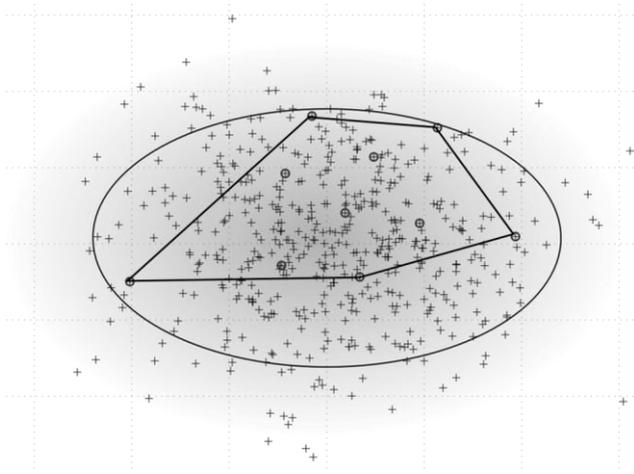
**Рисунок 2. Получение репрезентативной выборки методом параллелограмма**

Заштрихованные линии на рисунке 2 — области ошибки второго рода. Очевидно, что ошибка второго рода отсутствует только в том случае, когда гиперпараллелепипед полностью содержится в «области доверия».

Видно, что ошибка второго рода тем больше, чем больше среднеквадратическое отклонение  $\sigma_T$  образов исходной обучающей выборки  $T$ . Т.о. область, ограниченная гиперпараллелепипедом содержит области не принадлежащие «области доверия». Область, принадлежащая «области доверия», но не принадлежащая гиперпараллелепипеду — область ошибок первого рода. На практике ошибки первого рода менее критичны, тем более, что их относительное количество уменьшается в процессе работы сети.

#### **Метод выпуклых оболочек**

Воспользуемся одним из алгоритмов [3] и построим на образцах  $T$  выпуклую оболочку (см. рисунок 3). Мы получили систему  $L$  гиперплоскостей, ограничивающих область, содержащую все  $T$ . Любую точку из этой области можно добавить к  $T$  для расширения обучающей выборки. Из рисунка 3 видно, что ошибка второго рода отсутствует. В частности, она появляется только тогда, когда выборка  $T$  содержит случайные выбросы, которые находятся за пределами «области доверия». Случайные выбросы легко ликвидируются статистическими методами.

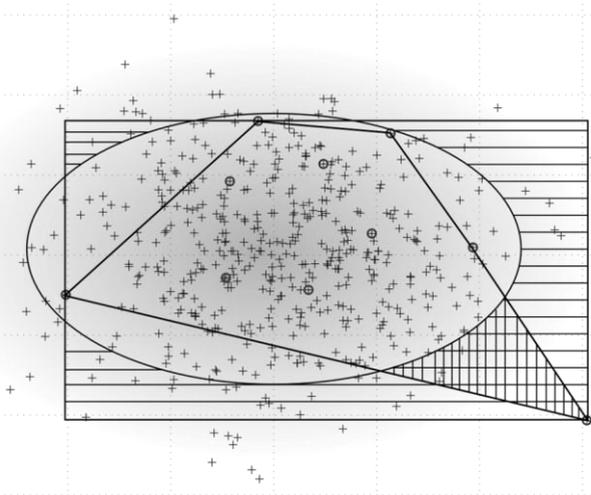


**Рисунок 3. Получение репрезентативной выборки методом выпуклых оболочек**

Найдём математический центр  $M$  — математическое ожидание области  $D$ . Очевидно, что  $M$  есть центр гиперэллипса, к которому будет стремиться математическое ожидание  $N$  образов при  $N \rightarrow \infty$ . Если все образы  $x_i$  из  $T$  лежат в «области доверия», то расстояние от каждого из них до центра  $M$  не превосходит радиуса гиперэллипса, лежащего на прямой  $x_iM$ . Нужно показать, что расстояние между любой точкой, лежащей на грани/ребре  $l$  и центром  $M$  не превосходит соответствующих радиусов. Действительно, точки  $x_i$ , образующие  $l$ , лежат в выпуклой области  $D$ . Из выпуклости  $D$  следует, что все точки  $x \in l$  так же принадлежат  $D$ , следовательно, точки, принадлежащие выпуклой оболочке также принадлежат  $D$ .

#### **Ошибки второго рода**

Выше было показано, что для метода выпуклых оболочек ошибка второго рода меньше при условии, что все  $x_i \in T$  лежат внутри «области доверия». Покажем теперь, что ошибка меньше и в случае случайных выбросов. Этот очевидный факт легче всего продемонстрировать геометрически (см. рисунок 4). Рассмотрим один и тот же набор образов, и допустим, что один из них — случайный выброс.



**Рисунок 4. Ошибки второго рода обоих методов**

На рисунке горизонтальная и вертикальная штриховки — ошибки второго рода методов параллелепипеда и выпуклых оболочек соответственно. Область, имеющая только горизонтальную штриховку есть разница ошибок обоих методов, т. е. область ошибки второго рода метода выпуклых оболочек содержится в аналогичной области метода параллелограмма. Области будут совпадать только в том случае, если все вершины гиперпараллелепипеда будут внешними точками выпуклой оболочки, а все остальные точки лежат внутри области гиперпараллелепипеда.

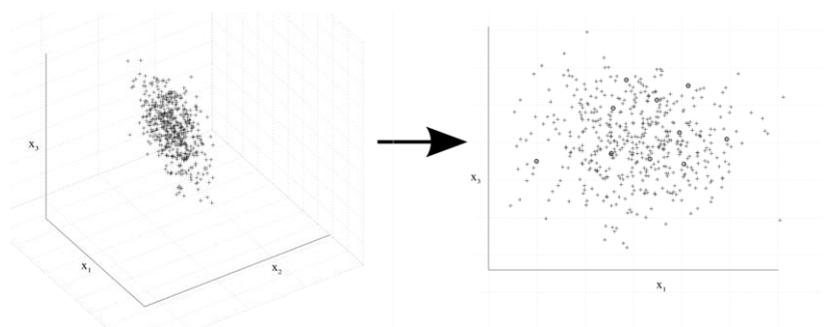
Таким образом, даже если выборка  $T$  содержит случайные выбросы, ошибка второго рода в методе выпуклых оболочек меньше, чем в методе параллелепипеда.

#### **Модификация алгоритма выпуклых оболочек**

Сложность построения выпуклой оболочки растёт с ростом размерности пространства и количества точек для построения. Это следует хотя бы из того, что в  $n$ -мерном пространстве в качестве граней рассматриваются гиперплоскости. Так же стоит помнить о том, что в пространстве  $R^n$  минимальное число точек для построения равно  $(n - 1)$  (это минимальное количество точек, необходимых для построения выпуклого тела в пространстве  $R^n$ ).

Из пространства параметров  $R^n$  можно исключить  $m$  параметров с малым  $\sigma$ , приняв соответствующие координаты образов за их математическое ожидание. Действительно, при малом среднеквадратичес-

ком отклонении, параметры принимают значения близкие к их среднему и не вносят большого вклада в объём «области доверия». И наоборот, параметры с большим  $\sigma$  вносят больше в объём  $D$ . Теперь в алгоритме участвуют  $(n - m)$  параметров. Рассмотрим случай с тремя параметрами, т. е.  $n = 3$  (см. рисунок 5). Исходная выборка практически лежит в некоторой плоскости, параллельной одной из координатных осей. Исключив соответствующий параметр из рассмотрения (в данном случае  $x_3$ ) мы приходим к двумерному (т. е.  $n - 1$ ) случаю.



**Рисунок 5. Уменьшение размерности входного пространства**

### **Выводы**

Оба рассмотренных метода основаны на предположении о нормальном распределении параметров и, следовательно, выпуклости множества входных образов и в общем случае не применимы для произвольно распределенных векторов. Метод выпуклых оболочек даёт большую вероятность ошибок первого рода, но меньшую второго, что делает его использование более предпочтительным. Однако вычислительная сложность построения выпуклой оболочки растёт много быстрее с ростом размерности входного пространства и ростом количества точек, и как следствие, растёт сложность метода в целом. В связи с этим целесообразно применять метод для параметров имеющих наибольшую дисперсию, приравнивая остальные к их средним значениям. Кроме того, с ростом количества образов исходной выборки, выпуклая оболочка приближается к «границе доверия», тогда при неоправданно огромных вычислительных и как следствие временных затратах получение репрезентативной выборки есть ни что иное как работа нейронной сети, что негативно сказывается на производительности.

### **Список литературы:**

1. Брюхомицкий Ю.А. Классификация биометрических параметров пользователя с помощью вероятностных методов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2005. № 4.
2. Брюхомицкий Ю.А. Биометрическая аутентификация на основе вероятностной нейронной сети // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2004. — № 1. — С. 88.
3. Ивантер Э.В., Коросов А.В. И 228 Элементарная биометрия : учеб. пособие / Э.В. Ивантер, А.В. Коросов. –Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. — 104 с. ISBN 978-5-8021-1112-3.
4. Кормен, Томас Х., Лейзерсон, Чарльз И., Ривест, Рональд Л., Штайн, Клифорд. Вычислительная геометрия // Алгоритмы: построение и анализ. М.: «Вильямс», 2005. — ISBN 5-8459-0857-4.

## СЕКЦИЯ 2.

### ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

#### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ НА ПОТОК СЕМЯН В ПРОЦЕССЕ ИХ ВЫСЕВА

*Васильев Сергей Иванович*

*канд. техн. наук, доцент,  
кафедра «Электрификация и автоматизация АПК» ФГБОУ ВПО  
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»,  
РФ, г.о. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский  
E-mail: [si\\_vasilev@mail.ru](mailto:si_vasilev@mail.ru)*

#### THEORETICAL JUSTIFICATION OF INTEGRAL ACTIONS PARAMETERS BY ELECTRICAL FIELD ON SEEDS FLOW IN THE PROCESS OF THEIR SOWING

*Sergey Vasiliyev*

*candidate of Technical Sciences, Federal State Budgetary Educational  
Institution of Higher Professional Education "Samara State Agricultural  
Academy", Associate professor of AIC Electrification and Automation Chair,  
Russia, urban district Kinel, urban-type settlement Ust-Kinelsky*

#### АННОТАЦИЯ

Представлено теоретическое обоснование процесса комплексного воздействия электрическим полем высокой напряженности на поток семян в процессе их высева, с целью их одинакового ориентирования в потоке, уплотнения и стабилизации потока, а также электротехнологического обеззараживания и электростимуляции высеваемых семян. В результате существенно повышается стабильность и равномерность высева семян, увеличивается проращиваемость семян и скорость дальнейшего роста растений, снижается уровень заболеваемости семян и растений.

## ABSTRACT

The theoretical justification of integral actions parameters by electrical field on seeds flow in the process of their sowing is presented for the purpose of the same orientation in the flow, compression and flow stabilization as well as electrical and technical purification and seeds electric stimulation. As a result, the stability and seeds evenness increases significantly; seeds growing, speed of further plant, level of plants and seeds incidence decrease.

**Ключевые слова:** электрическое поле; ориентирование семян; ионизация; стабилизация потока семян; коронный разряд; электро-стимуляция семян; электротехнология; обеззараживание семян.

**Keywords:** electrical field; seeds orientation; ionization; flow seeds stabilization; corona discharge; seeds electrical stimulation; electrical technology; seeds purification.

В процессе высева семян известными высевающими аппаратами всегда имеет место определенная неравномерность высева (пульсация потока семян), в результате чего коэффициент вариации высеянных семян имеет высокое значение (до 5 % и выше).

Для снижения неравномерности высева и коэффициента вариации, было предложено использовать электрическое поле высокой напряженности [1].

Воздействуя на семена электрическим полем высокой напряженности можно частично устранить отмеченные недостатки, так как электрическое поле возбуждает в объеме высеваемого материала силы электрического взаимодействия между семенами и, семенами с электрическим полем, а также вызывает процесс ионизации молекул воздуха и влаги и, тем самым, выполняется дезинфекция и стимулирование семян к одновременному прорастанию [2].

При отсутствии семян в межэлектродном пространстве, напряженность внешнего электрического поля  $E_{вн}$  постоянна. Семенной слой в межэлектродном пространстве, влияет на распределение напряженности электрического поля. При его заполнении напряженность в воздушных зазорах  $E_{в}$  резко снижается, а в семенных частицах  $E_{ч}$  и на их острых краях возрастает (т. к. семена растений являются диэлектриками). Напряженности внешнего поля, в воздушных промежутках и внутри семян выражаются следующими зависимостями [2]

$$E_{вн} = \frac{U}{\sum h_{в} + h_{ч}}, \text{ В/м}; E_{в} = \frac{C_{в}U}{\epsilon_{в}S_{в}}, \text{ В/м}; E_{ч} = \frac{C_{ч}U}{\epsilon_{ч}S_{ч}}, \text{ В/м}. \quad (1)$$

где:  $U$  — напряжение на электродах, В;

$h_b, h_c$  — высота воздушного промежутка и семенной частицы соответственно, м;

$C_b, C_c$  — ёмкости воздушного промежутка и семенной частицы соответственно, мкФ;

$\epsilon_b, \epsilon_c$  — диэлектрические проницаемости воздуха и семенной частицы соответственно, Ф/м;

$S_b, S_c$  — площади поперечных сечений воздушного промежутка и семенной частицы соответственно, м<sup>2</sup>.

На семенную частицу, при начальном угле ее наклона к плоскости электрода  $\gamma_0 \neq 0$  будет действовать вращающий момент (рисунок 1), со стороны электрического поля, стремящийся повернуть частицу и установить ее продольной осью параллельно силовым линиям электрического поля ( $\gamma_0 \rightarrow 90^\circ$ ).

$$M_{\Omega} = E_b^2 \cdot V \cdot F \cdot \sin 2\gamma_0 / 8\pi, \text{ Н/м.} \quad (2)$$

где:  $E_b$  — напряженность электростатического поля в воздушном зазоре, В/м;

$V$  — объем эллипсоидной семенной частицы, м<sup>3</sup>;

$F$  — функция, отражающая влияние формы и диэлектрической проницаемости частицы на вращающий момент поля, Н/В<sup>2</sup>м<sup>2</sup>;

$\gamma_0$  — начальный угол наклона семенной частицы, град.

За счет действия сил трения и взаимодействия частиц возникает момент сопротивления  $M_C$ , направленный встречно моменту  $M_{\Omega}$  и препятствующий развороту семенных частиц. Т. е. при  $M_{\Omega} > M_C$  семя способно ориентироваться в электростатическом поле.

Семенной поток, состоящий из одинаково сориентированных частиц, притягивающихся друг к другу, уплотняется и стабилизируется, обеспечивая равномерный сход семян с выхода высевального аппарата.

Сориентированную семенную частицу при этом можно представить, как игольчатый электрод с радиусом вершин семян  $r$  и расстоянием от вершин «игл» до электрода  $H$ .

Наибольшая напряженность поля наблюдается на вершинах семян (заостренных краях, т.е. при  $r \rightarrow 0$ ) (рисунок 2). При определенных условиях (высокая напряженность поля) на вершинах семян возникнет коронный разряд. Для системы игла-плоскость критическая напряженность  $E_0$  и начальное напряжение короны  $U_0$  определяются выражениями

$$E_0 = 30,3 \cdot 10^5 \cdot \sigma(1 + 0,0298/\sqrt{r\sigma}), \text{ В/м}, \quad (3)$$

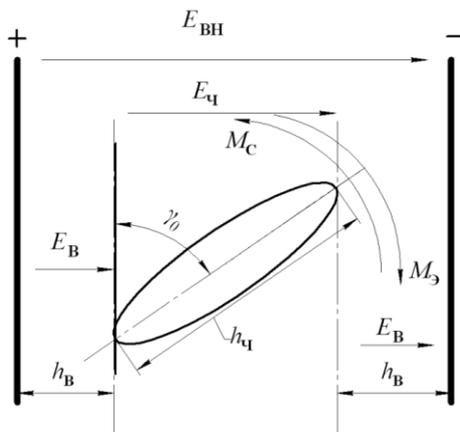
$$U_0 = 0,5E_0 \cdot r \cdot \ln \frac{4H}{r}, \text{ В}, \quad (4)$$

где:  $\sigma \frac{n!}{r!(n-r)!}$  — относительная напряженность поля в воздушном промежутке, В<sup>2</sup>/м;

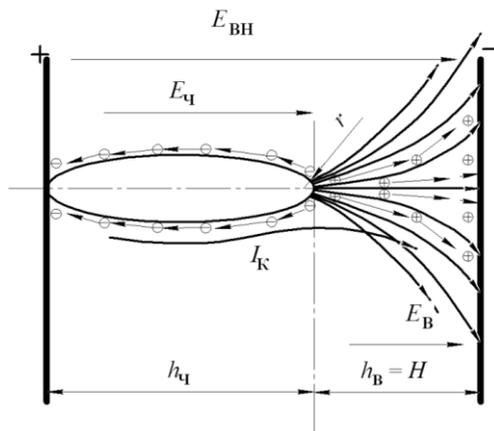
$r$  — радиус игольчатого электрода, м;

$H$  — расстояние от иглы до плоскости, м;

Если к электродам приложено напряжение  $U$ , в интервале  $0 < U < U_0$  через межэлектродное пространство протекает ток утечки, который определяется наличием свободных зарядов в воздушном зазоре на поверхности семян.



**Рисунок 1. Схема ориентации частицы под действием электрического поля**



**Рисунок 2. Схема образования коронного разряда на острых краях зерна и ионизации межэлектродного пространства**

Из-за влаги и токопроводящей пыли на поверхности частиц отрицательные ионы скользят по поверхности, попадая в семенной слой.

При этом вольтамперная характеристика процесса будет определяться выражением

$$I = I_{\text{ут}} = U / (R_{\text{в}} + R_{\text{ч}}), \text{ А}, \quad (4)$$

где:  $I_{\text{ут}}$  — ток утечки, А;

$R_{\text{в}}$ ,  $R_{\text{ч}}$ , — сопротивления, соответственно, воздушного зазора, ориентированной частицы и семенного слоя, Ом.

При  $U > U_0$  у вершины семени в воздушном зазоре происходит коронный разряд, образуя положительные и отрицательные ионы (рисунок 2). При этом положительные и отрицательные ионы двигаются к противоположно заряженным электродам по проводящей поверхности ориентированных семян совместно с током утечки через семенной слой.

Общий ток  $I$ , протекающий в межэлектродном пространстве равен

$$I = I_{\text{ут}} + I_{\text{к}}, \text{ А}. \quad (5)$$

где  $I_{\text{к}}$  — ток коронного разряда, А.

При обработке семян в электрическом поле главным стимулирующим фактором является напряженность электрического

поля в семенной частице  $E_{\text{ч}}$ . Она зависит от относительной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_{\text{ч}}$  и высоты зерновой частицы  $h_{\text{ч}}$  и должна составлять 2...3 кВ/см. Также обработка семенного слоя потоком ионов, образовавшихся при коронном разряде, приводит к их обеззараживанию.

### **Список литературы:**

1. Крючин Н.П. Совершенствование процесса дозирования трудносыпучих семян путем применения электрического поля / Н.П. Крючин, С.И. Васильев, А.Н. Крючин // Известия Самарской ГСХА. — 2010. — № 3. — С. 36—40.
2. Крючин Н.П. Применение электрического поля для совершенствования процесса дозирования трудносыпучих семян / Н.П. Крючин, С.И. Васильев, А.Н. Крючин // Аграрная наука сельскому хозяйству: сб. статей в 3 кн. Барнаул: Издательство АГАУ, — 2011. — Кн. 3. — С. 56—59.

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ  
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.  
ПРИМЕНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ МНОГОГРАННЫХ ОПОР**

***Хамидуллин Искандер Наилевич***

*аспирант*

*Казанского Государственного Энергетического Университета,*

*РФ, г. Казань*

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

***Сабитов Линар Салихзянович***

*канд. техн. наук, доцент*

*Казанского Государственного Энергетического Университета,*

*РФ, г. Казань*

***Ильин Владимир Кузьмич***

*д-р тех. наук, проф.*

*Казанского Государственного Энергетического Университета,*

*РФ, г. Казань*

***Кузнецов Иван Леонидович***

*д-р тех. наук, проф. Казанского Государственного*

*Архитектурно-строительного Университета,*

*РФ, г. Казань*

**IMPROVE THE RELIABILITY OF OVERHEAD POWER  
LINES. USING STEEL MULTIFACETED POLES**

***Khamidullin Iskander***

*Ph.D. student of Kazan State Power Engineering University,*

*Russia, Kazan*

***Sabitov Lenar***

*candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

*of Kazan State Power Engineering University,*

*Russia, Kazan*

*Ilin Vladimir*  
*doctor of Technical Sciences, Professor*  
*of Kazan State Power Engineering University,*  
*Russia, Kazan*

*Kuznetsov Ivan*  
*doctor of Technical Sciences, Professor*  
*of Kazan State University of Architecture and Construction,*  
*Russia, Kazan*

### **АННОТАЦИЯ**

Износ основных фондов является основной причиной технологических нарушений воздушных линий электропередачи. Ограниченность финансовых ресурсов обуславливает необходимость проведения анализа всех элементов системы и выбора наиболее оптимальных решений.

В статье проведен статистический анализ повреждаемости элементов ВЛ и их влияние на показатели надежности. В результате моделирования эквивалентных нагрузок на двух типах опор сделан вывод о возможности применения стальных многогранных опор для повышения показателей надежности ВЛ.

### **ABSTRACT**

Depreciation of fixed assets is a major cause of technological failures of overhead power lines. Limited financial resources necessitates an analysis of all elements of the system and select the most optimal solutions.

In this paper, the statistical analysis of damage to elements of the OPL and their impact on reliability. The simulation of equivalent loads on two types of poles the conclusion about the possibility of the use of steel multifaceted poles to improve the performance reliability of the OPL.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи; надежность электрических систем; стальные многогранные опоры; моделирование нагрузки.

**Keywords:** overhead power lines; the reliability of electrical systems; steel multifaceted poles, modeling loads.

В энергосистемах современных государств эксплуатируется миллионы километров линий электропередач. Например, протяженность электрических сетей России напряжением 110 кВ и выше на начало 2011 г. составила свыше 457 тыс. км, в том числе 0,95 тыс. км — ВЛ 1150 кВ, 3 тыс. км — ВЛ 750 кВ, 39,4 тыс. км — ВЛ

500 кВ, 10,8 тыс. км — ВЛ 330 кВ и 99,1 тыс. км — ВЛ 220 кВ [1]. Основная часть воздушных линий электропередачи 35-500 кВ, функционирующее в настоящее время, была построена в 60—70-х годах прошлого столетия и к настоящему времени имеет срок службы больше нормативного.

Данный вопрос актуален так же из-за участвовавших технологических нарушений из-за экстремальных метеоусловий (переход правил устройства электроустановок (ПУЭ-7) на период повторяемости в 25 лет увеличил нормативные ветровые нагрузки на 20—30 %, а нормативную толщину стенки на 5 мм. [7]).

С учетом вышеизложенного при проектировании ВЛ, необходимо учитывать, что надежность линий зависит от надежности элементов ВЛ. К таковым необходимо отнести: опоры, провода и тросы, изоляторы, арматуру ВЛ. И если взять, что  $P_{опора}$  — надёжность одного элемента (опоры ВЛ), — других (провода, изоляторов, арматуру) то вероятность того, что все элементы будут работать безотказно в течении времени  $t$  [6]:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{посл}}(t) &= P_{\text{он}}(t)P_{\text{уз}}(t)P_{\text{нр}}(t)P_{\text{ар}}(t) = \\
 &= \exp\left[-\int_0^t \lambda_{\text{он}} dt\right] \exp\left[-\int_0^t \lambda_{\text{уз}} dt\right] \exp\left[-\int_0^t \lambda_{\text{нр}} dt\right] \exp\left[-\int_0^t \lambda_{\text{ар}} dt\right]
 \end{aligned} \tag{1}$$

где:  $\lambda_{\text{уз}}$ ,  $\lambda_{\text{нр}}$ ,  $\lambda_{\text{ар}}$  — интенсивности отказов элементов, которые м.б. постоянными или переменными во времени;

Тогда вероятность того, что один или оба элемента откажут:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{посл}}(t) &= q_{\text{опора}}(t) + q_{\text{нр}}(t) + q_{\text{уз}}(t) + q_{\text{арм}}(t) = \\
 &= 1 - P_{\text{опора}}(t) + 1 - P_{\text{уз}}(t) + 1 - P_{\text{нр}}(t) + 1 - P_{\text{арм}}(t) - \\
 &- \left[1 - P_{\text{опора}}(t)\right] \left[1 - P_{\text{уз}}(t)\right] \left[1 - P_{\text{нр}}(t)\right] \left[1 - P_{\text{арм}}(t)\right] = 1 - P_{\text{посл}}(t)
 \end{aligned}$$

Потенциально отказ любого из этих элементов может привести к отказу всей системы (к прекращению электроснабжение). Однако каждый элемент имеет свою вероятность отказа и степень тяжести последствия отказа. Так, например, наиболее тяжелые последствия для линий электропередачи имеет разрушения опор, приводящее к большим затратам, связанным с восстановлением ВЛ и недоотпус-

ком электроэнергии. Другими словами, повышая надежность именно этого элемента возможно наиболее существенно снизить затраты на восстановления ВЛ в случаи отказа.

*Таблица 1.*

**Статистика отказов элементов ВЛ**

Наименование элемента ВЛ	Поток отказов в % от общего количества		
	РФ(СССР)	США	Германия
Опоры	13	29	16
Провода и тросы	52	33	53
Изоляторы	31	30	37
Арматуры	4	8	4

Как видно из таблицы доля отказов ВЛ 35—500 кВ из-за опор составляет 13 % (Для РФ(СССР). Более того, согласно статистическому анализу ОГРЭС за 1966—1989 годы удельное число отказов железобетонных опор составил 0,034, в то время как для металлических этот показатель равняется 0,022 [2]. То есть можно сделать вывод что, металлические опоры меньшую интенсивность отказов, чем железобетонные.

Основная причина значительной разницы в повреждаемости между металлическими и железобетонными опорами заключается в сильной зависимости несущей способности последних от качества заделки их в грунте. Часто железобетонные опоры под действием внешних нагрузок приобретают крен. Это создает дополнительный изгибающий момент в стойке опоры, вызванный значительной собственной массой конструкции, способствующий дальнейшему увеличению наклона. В результате этого, несущая способность железобетонных опор резко снижается, что приводит к их разрушению.

Главный недостаток металлических опор ЛЭП из уголкового проката — большое количество сборочных единиц, и как следствие, увеличенные трудозатраты при монтаже. Сроки монтажа решетчатых стальных опор ВЛ в 6 раз больше, чем у аналогичных железобетонных или стальных многогранных [3]. Учитывая тот факт, что пролетные расстояния у решетчатых и многогранных опор приблизительно равны и в 1,5—2 раз больше железобетонных, можно сделать вывод, что строительство ВЛ на стальных многогранных опорах имеет преимущество по скорости строительства перед стальными решётчатыми и железобетонными опорами.

В настоящее время в РФ при строительстве и реконструкции ВЛЭП используют преимущественно типовые (унифицированные) опоры, разработанные 70—80 годы прошлого столетия. Изменение нормативной базы, переход на рыночную экономику, и как следствие, необходимость в привлечении инвесторов в электросетевой комплекс РФ для реализации необходимых проектов требуют применения оптимальных технических и экономических решений. Строительство воздушных линий электропередачи на опорах из многогранных гнутых стоек является одним из таких решений.

При современном строительстве и проектировании хорошо себя зарекомендовали опоры выполненные из многогранных гнутых стоек (МГС). Такие опоры надежные, эстетичные, универсальные, т. е. способны к адаптациям, это когда из базовой опоры можно собрать опоры различной высоты из множества типовых секций. т. к. проектирование и производство конструкции стойки максимально автоматизировано. Имея испытанную на полигоне базовую опору, завод-производитель может в течение короткого времени организовать производство опоры новой модификации, которая является подходящей для конкретной трассы воздушных линий.

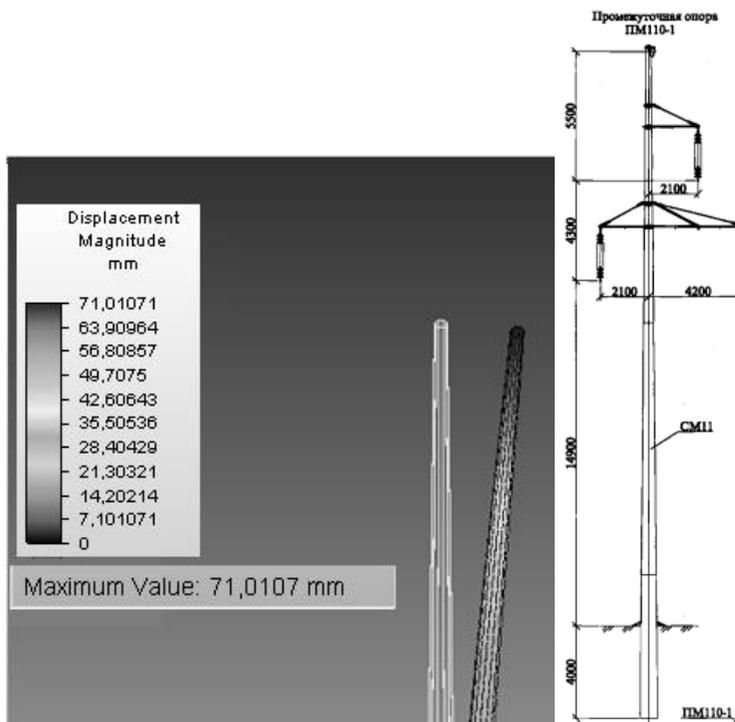
Для сравнения смоделируем нагрузки на опору ВЛ 110 кВ, выполненную из многогранной гнутой стойки ПМ-110-1 [5]. При этом смоделирована нагрузка, при котором произошло разрушение реальной опоры ВЛ из центрифугированной железобетонной стойки марки СК-1 на территории РТ.



***Рисунок 1. Разрушение опоры ВЛ 110 кВ, выполненной из железобетонной стойки СК-1***

Анализ напряженно-деформированного состояния стойки при заданных нагрузках проведем в программе Autodesk Simulation Mechanical выполняющее моделирование методом конечных элементов.

При результирующей нагрузке  $M_y = 35,03 \text{ т} \cdot \text{с} \cdot \text{м}$ , при котором происходит разрушение железобетонной опоры ВЛ, стойка опора из многогранной гнутой стойки не подвергся неэластичной деформации. Допустимое отклонение вершины металлической опоры ВЛ от вертикальной оси вдоль и поперек оси линии составляет 1/200 высоты опоры [4], для рассматриваемой опоры —  $f_{дон} = 110 \text{ мм}$ . По результатам моделирования максимальное смещение вдоль оси  $f_{дон} = 71 \text{ мм}$ .



**Рисунок 2** Общий вид опоры ПМ-110-1 и показатели смещения вершины при моделировании нагрузки

При этом моделирование показало, что при заданной нагрузке стойка имеет запас прочности, а, следовательно, и возможности для оптимизации конструкции стойки.

**Вывод:** Отказ воздушных линий электропередачи в результате разрушения опор является наиболее тяжелым, затратным и долгим по времени восстановлению. С увеличением износа линий, находящихся в эксплуатации более 25 лет, число подобных отказов возрастает.

Авторами проанализирована статистика отказов ВЛ и разрушения опор. Проведен анализ конкретного отказа ВЛ на территории РТ с последующим моделированием тех же условий на опоре из металлической гнутой стойки. По результатам моделирования сделан вывод, что данная опора не только имеет более высокие прочностные характеристики, но и имеет определенный запас прочности, позволяющий оптимизировать конструкцию опоры, то есть при сохранении требуемой степени надежности (безотказной работы ВЛ) удешевить опорную конструкцию.

### **Список литературы:**

1. Волков Э.П., Баринов В.А., Гаврилов А.Ф. Разработка программы модернизации электроэнергетики России на период до 2020 года. М.: 2011 — 244 с.
2. Звенин А.А., Константинова Е.Д. Основные положения методики расчета проводов и нагрузок на опоры ВЛ на основе метода предельных состояний// Линии электропередачи 2006: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс. Новосибирск: 2006. — С. 183—193.
3. Линт Н.Г., Казаков С.Е. Экономика строительства линий электропередачи на стальных многогранных опорах// Электро, — 2007 — № 6 — С. 47—53.
4. СНиП 3.05.06-85. Электротехнические устройства М.: Минмонтажспецстрой СССР, 1985. — С. 16.
5. Ударов В.М. Стальные многогранные опоры ВЛ 110 кВ. Рабочие чертежи. ОАО РОСЭП, 2003. — С. 17.
6. Хамидуллин И.Н., Сабитов Л.С., Ильин В.К., Кузнецов И.Л. К вопросу о надежности воздушных линий электропередачи 35—500 кВ//Воздушные линии. — 2015 — № 1 — С. 63—67.
7. Цейтлин М.А. Опыт проектирования и применения опор ВЛ со стальными многогранными стойками // Прогрессивные решения в электросетевом строительстве: сб. науч. тр. М., Энергосетьпроект, 1988. — С. 112—123.

### **СЕКЦИЯ 3.**

## **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ**

### **ТЕХНОЛОГИЯ МОКУМЕ ГАНЕ В СОВРЕМЕННЫХ ЮВЕЛИРНЫХ УКРАШЕНИЯХ**

***Баранова Ольга Константиновна***

*соискатель ученой степени кандидата наук,  
ассистент кафедры технологии художественной обработки  
материалов и ювелирного искусства Санкт-Петербургского  
государственного университета технологии и дизайна,  
РФ, г. Санкт-Петербург  
E-mail: [Owest-f@mail.ru](mailto:Owest-f@mail.ru)*

***Чалова Екатерина Игорьевна***

*аспирант, ассистент кафедры технологии художественной  
обработки материалов и ювелирного искусства Санкт-Петербургского  
государственного университета технологии и дизайна,  
РФ, г. Санкт-Петербург*

***Баранова Александра Ивановна***

*преподаватель Камчатского индустриального техникума,  
РФ, г. Виллючинск*

## USING MOKUME GANE IN MODERN JEWELRY

*Olga Baranova*

*candidate for a degree of candidate of sciences, assistant  
of the department of artistic manufacturing of materials and jewelry  
in Saint-Petersburg University of Technology and Design,  
Russia, Saint-Petersburg*

*Ekaterina Chalova*

*postgraduate, assistant of the department  
of artistic manufacturing of materials and jewelry  
in Saint-Petersburg University of Technology and Design,  
Russia, Saint-Petersburg*

*Alexandra Baranova*

*professor 1<sup>st</sup> category in Kamchatskiy Industrial College,  
Russia, Viluchinsk*

### АННОТАЦИЯ

Проведен анализ старинного способа обработки металла — традиционной японской техники «мокуме гане», известной с XVII века, пути её развития за этот период, появления новых технологий изготовления, а так же приведены советы по практическому изготовлению ювелирных изделий в данной технике.

### ABSTRACT

Analysis of the ancient method of metal treatment — traditional Japanese technique “Mokume Gane”, known since XVII century, its development through the period, new technologies of manufacturing, and given advices on practical manufacturing of jewelry in this technique.

**Ключевые слова:** ювелирное производство; дизайн; технологии изготовления ювелирных изделий; традиционное искусство Японии; мокуме гане.

**Keywords:** jewelry manufacturing; design, technology of jewelry; traditional Japanese art; Mokume Gane.

В ювелирных украшениях люди ценят не только красоту, но и уникальность. Сами по себе ювелирные изделия могут являться как декоративными элементами (для обладателя), так и формой самовыражения (для создателя), поэтому некоторые из них считаются произведениями искусства. Украшения, выполненные в японской традиционной

технике мокуме гане, можно смело отнести к этой категории, ведь каждое из них является самостоятельным неповторимым миниаторным шедевром, имеющим как эстетическую, так и материальную ценность.

«В ювелирном деле практикуется множество разнообразных техник. Некоторые из них появились совсем недавно, другие связаны с древними традициями, передающимися из поколения в поколение» [2, с. 37]. Мокуме гане — традиционная, проверенная временем техника с богатой историей, в которую вдохнули новую жизнь современные технологии.

«С японского языка термин «мокуме гане» можно перевести как «металл, похожий на дерево»» [4, с. 27]. Это старинный способ обработки металла, изобретенный в XVII мастером Денбеем Сёами, с помощью которого он украшал рукояти самурайских мечей (рисунок 1). Самураи занимали высокое положение в обществе средневековой Японии, но не каждый из них мог позволить себе такую роскошь. Изысканно украшенная рукоять служила символом высокого статуса и достатка обладателя.



*Рисунок 1. Лезвия катаны, изготовленной в технике мокуме гане*

Принцип, на котором основывается Мокуме гане — такой же, как и при изготовлении самурайских мечей. Несколько пластин драгоценных металлов, в число которых входят и традиционные японские сплавы (например, Шакудо — сплав на основе меди 96 % и 4 % чистого золота) свариваются между собой в диффузии при высокой температуре. Глубина взаимопроникновения металлов Мокуме около 0,025 мм, и именно рост новых кристаллов в этой зоне скрепляет пластины воедино. Соединив пластины вместе, их обра-

бывают и придают текстуру таким образом, чтобы открывались небольшие участки поверхности каждого слоя.

Сложность технологии состоит в том, что разные, порой практически не сочетаемые металлы соединяются между собой в причудливые и очень красивые узоры, которые никогда не повторяются.

В результате обработки техникой мокуме гане металл приобретает слоистый рисунок, по фактуре напоминающий древесные кольца или кору. «Эти уникальные узоры являются своеобразным воспеванием естественной красоты дерева, воплощенной в холодном могучем металле» [3, с. 14]. В современном мире самурайские мечи имеют успех лишь у коллекционеров, а статус самурая не имеет такого большого значения, но, тем не менее, мокуме гане получило такое широкое распространение и обожание, что получило воплощение в предметах искусства и прекрасных ювелирных изделиях.

Традиционная техника мокуме гане сводилась к сращиванию методом плавления нескольких листов различных металлов. Современные мастера и новые технологии привнесли в процесс некоторые изменения, но суть процесса остается неизменной.

На сегодняшний день существует два основных способа изготовления Мокуме ганэ: способом сплавления в печи и изготовление при помощи припоя.

Первый способ заключается в составлении целостной композиции из двух или более разнородных металлов, которые накладываются друг на друга слоями, создавая в условиях термической обработки, однородный сплав. В традиции японской техники такой сплав достигался благодаря диффузионной сварке в угольных кузницах.

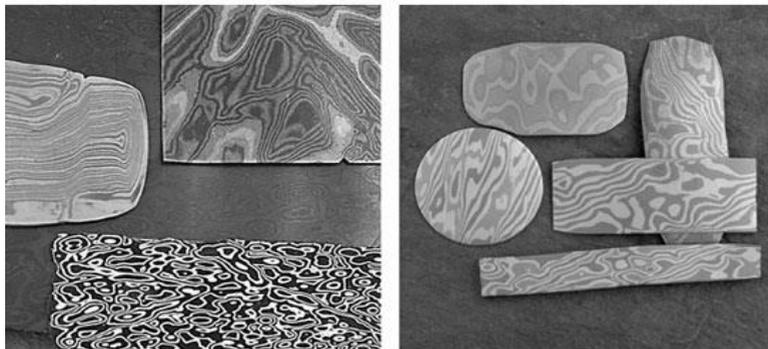
В настоящее время известны разнообразные комбинации металлов, пригодных для данной техники: желтое, розовое и белое золото, никель, палладий, платина, титан, цирконий, бронза и латунь.

Суть метода мокуме гане в том, что листы различных ювелирных металлов складываются чередующимися по цвету слоями (рис. 2). Количество слоев достигает нескольких десятков. Затем заготовка нагревается при высокой температуре, чтобы металлы начали спекаться между собой. Происходит диффузия металлов в твердой фазе. Самое важное и сложное — прочно соединить разные металлы и при этом не превысить температуру плавления, чтобы сохранились индивидуальные слои



*Рисунок 2. Плоские заготовки до скручивания слоев*

Далее поученная заготовка прессуется, проковывается, скручивается, чтобы плоские слои стали извилистыми. Нагревается для снятия внутренних напряжений. И так много раз. Иногда в металле прорезают много регулярных углублений сквозь несколько контрастных слоев, чтобы обнажить рисунок. Затем снова подвергают ковке, чтобы сделать заготовку плоской. Процесс долгий и сложный. Характер и интересность узора зависят от опыта мастера (рис. 3).



*Рисунок 3. Сплав в технике «Мокуме гане»*

Рассмотрим более подробно второй способ изготовления, не требующий сложного и дорогостоящего оборудования.

Изготовление Мокуме при помощи припоя так же можно разделить на два способа: припайиванием проволоки и припайиванием пластин. Если способ изготовления проволокой можно считать простым, поскольку проволока имеет небольшую площадь контакта

поверхностей, что не создает особых проблем при пайке, то при пайке плоских поверхностей пластин все обстоит сложнее. Последний способ рассмотрим детальнее:

1. Вначале следует подобрать металлы для пайки согласно их совместимости по параметрам ковкости и способности подвергаться пайке серебряным припоем. Обычно это медь, медные сплавы, серебро и золото.

2. Нарезьте подобранные металлы на две одинаковых полосы шириной не более 25 мм. Длина полосы не представляет проблемы, но для небольших предметов подойдут заготовки длиной 50—100 мм. Толщина заготовки должна быть не меньше 1,5 мм, иначе при пайке пластины будут легко деформироваться, что сильно повлияет на качество спаиваемых поверхностей. Старайтесь использовать металл максимально возможной толщины, чтобы уменьшить площадь поверхности для пайки. Но при этом не забывайте про ограничение расстояния между валами на вальцах, которыми еще предстоит пользоваться. В большинстве случаев оно варьируется от 3 до 6 мм. Таким образом, заготовка должна представлять собой ровную узкую полосу.

3. Идеально выровняйте поверхности пластин, чтоб зазор между ними был минимальным. Ошлифуйте так, чтобы на их поверхности не было пятен окиси. Затем снимите фаску по длинной стороне, которая будет служить канавкой между пластинами для точного втекания припоя. Немаловажным является полировка соединяемых поверхностей, так как припой намного лучше растекается по полированной поверхности.

4. Соедините пластины так, чтоб скошенные стороны фасок совпадали. Свяжите обе заготовки относительно толстой проволокой (биндрой) так, чтобы между витками проволоки было равное расстояние. Сверху важно оставить 6-миллиметровые петельки. Они помогут удерживать при пайке заготовку под углом. Проволока должна быть хорошо натянута, чтобы надежно удерживать металл.

5. Окуните в густой раствор буры либо используйте буру кремнеобразной консистенции. В течение всего процесса используйте тугоплавкий серебряный припой. Это позволит понижать температуру припоя, используемого в дальнейшем. Припой желательно использовать в проволоочном виде.

6. Предварительно прогрейте блок большим кустистым пламенем на вращающейся подставке до тускло-красного свечения. В этот момент уменьшите пламя и сконцентрируйте его в центре соединяемого металла. Когда будет достигнута необходимая температура, начинайте подавать припой между пластинами,

используя V-образную выемку. Не жалейте припой. Далее, поверните подставку, нагрейте с обратной стороны и протяните по всей ширине пластин. Помните правило: припой течет туда, где выше температура. Следовательно, подавая припой с одной стороны, с противоположной стороны необходимо прогревать, пока припой не проявится между пластинами. Убедитесь, что пластины полностью спаялись непрерывным швом припоя, выступающим по всему периметру.

7. Медленно остудите, снимите проволоку и отбелите. В случае, если пластины спаялись не полностью, после отбеливания промойте в ультразвуковой ванне, промойте в воде и просушите. Слегка прокатайте в вальцах, чтобы пластины плотно сошлись. Затем заново покройте флюсом и прогрейте пластины до необходимой температуры, пока припой не прольется полностью.

8. Выровняйте заготовку, ошлифуйте. По желанию можно добавить третий металл, повторив предыдущий процесс. Полученную пластину прокатайте в длину, пока она не удвоится. Разрежьте пополам и снова спаяйте две половинки между собой, увеличив количество слоев вдвое.

Этот процесс можно продолжать сколько угодно раз. Но с увеличением числа слоев, теряются физические свойства металла: металл становится твердым и ломким, а чрезмерное число слоев может привести к потере необходимого декоративного вида. После того, как было набрано необходимое количество слоев, к спаянным пластинам желательно припаять толстую металлическую основу. Чтобы получить желаемую форму и толщину, полученную заготовку следует прокатать в необходимых направлениях, вырезать и спаять из нее требуемые детали. После чего отжечь и отчеканить металл с внутренней стороны, получив рельефную поверхность. Полученный рельеф с внешней стороны затачивается напильником и наждачной бумагой. После шлифовки металл полируют и производят его отделку, «а правильно подобранная отделка выявит рисунок и текстуру металла, равно как и настоящий цвет использованных сплавов» [1]. Современные ювелирные изделия, выполненные в технике мокуме гане представлены на рисунке 4.



***Рисунок 4. Ювелирные изделия, выполненные в технике мокуме гане***

Ювелирные изделия, созданные с применением техники мокуме гане, сочетают дух средневековой Японии, естественную красоту узоров дерева, холодную силу металла и являются современными произведениями искусства.

#### **Список литературы:**

1. Мокуме-гане // Интернет-журнал «Dekorata.ru». — 2010 г. — № 1 [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://dekorata.ru/NN/01/mokume-gane.html> (дата обращения 17.02.2014).
2. Пономарева К.С., Жукова Л.Т., Использование фактуры при создании объектов из декоративно-подделочного камня, Дизайн. Материалы. Технология. — 2014. — № 4(34) СПб.: СПГУТД — 220 стр.
3. Ричард Фуллер, Рон Грегори, Японские мечи. Энциклопедия холодного оружия, АСТ, Астрель, Харвест, 2010 г. — 288 стр.
4. Роберт Куган, Джеймс Биньон, Стив Миджетт, Мокуме гане. Полный обзор, Дедал-Пресс, 2005 г. — 160 стр.

**РОЛЬ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ  
В РАЗВИТИИ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ  
ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ  
ГАЗОПРОВОДОВ**

***Волгина Наталья Ивановна***

*канд. техн. наук, доцент Московского государственного  
машиностроительного университета (ММИ),  
РФ, г. Москва  
E-mail: [nvolgina2008@rambler.ru](mailto:nvolgina2008@rambler.ru)*

***Конакова Марина Анатольевна***

*канд. техн. наук, ведущий инженер  
ПОЭМГ ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург»,  
РФ, г. Санкт-Петербург  
E-mail: [MKonakova@spb.ltg.gazprom.ru](mailto:MKonakova@spb.ltg.gazprom.ru)*

***Хламкова Светлана Сергеевна***

*канд. техн. наук, доцент Московского государственного  
машиностроительного университета (ММИ),  
РФ, г. Москва  
E-mail: [svetlanaktn@yandex.ru](mailto:svetlanaktn@yandex.ru)*

***Шарипзянова Гюзель Харрясовна***

*канд. техн. наук, доцент Московского государственного  
машиностроительного университета (ММИ),  
РФ, г. Москва  
E-mail: [guzel@mtw.ru](mailto:guzel@mtw.ru)*

# INFLUENCE OF NONMETALLIC INCLUSIONS ON DEVELOPMENT OF STRESS CORROSION CRACKING OF THE MAIN GAS PIPELINES

*Volgina Natalya*

*candidate of Science, associate professor,  
Moscow state machine-building university (MAMI),  
Russia, Moscow*

*Konakova Marina*

*candidate of Science, leading engineer  
of POEMG JSC « Gazprom transgaz Saint Petersburg»,  
Russia, St. Petersburg*

*Chlamkova Svetlana*

*candidate of Science, associate professor,  
Moscow state machine-building university (MAMI),  
Russia, Moscow*

*Sharipzyanova Guzel*

*candidate of Science, associate professor,  
Moscow state machine-building university (MAMI),  
Russia, Moscow*

## АННОТАЦИЯ

Приведены результаты исследования влияния неметаллических включений на разрушения труб магистральных газопроводов. Показано, что сильная загрязненность неметаллическими включениями зафиксирована в сталях лишь вблизи очагов разрушений. Наблюдается зависимость образования дефектов в структуре металла от неметаллических включений. В местах с повышенным содержанием неметаллических включений возникают питтинги, приводящие в дальнейшем к развитию стресс-коррозионных трещин, вызывающих в дальнейшем разрушение трубопровода.

## ABSTRACT

Results of research of influence of nonmetallic inclusions on destructions of pipes of the main gas pipelines are given. It is shown that strong impurity is recorded by nonmetallic inclusions only near the centers of destructions. Dependence of formation of defects in structure of metal from nonmetallic inclusions is observed. In places with the raised content

of nonmetallic inclusions there are pittings leading further to development a stress corrosion cracking causing further destruction of the pipeline.

**Ключевые слова:** газопровод; сталь, коррозионное растрескивание под напряжением; неметаллические включения; структура; разрушение.

**Keywords:** gas pipeline; steel, stress corrosion cracking; nonmetallic inclusions; structure; destruction.

Существенное влияние неметаллических включений на механические и физические свойства металлов известно уже давно, широко исследуется и в зависимости от характера этого влияния — устраняется или используется металлургами и металловедцами с целью улучшения качества стали [4].

Неметаллические включения в стали образуются при выплавке, выпуске, разливке и кристаллизации. Образование эндогенных неметаллических включений — неизбежный процесс при производстве стали вследствие реакций между ее компонентами, уменьшения растворимости последних с понижением температуры, добавления в сталь раскислителей и десульфуратов. Момент и место образования включений — гомогенное зарождение в результате ликвации примесей или гетерогенное зарождение на поверхности ранее существовавших включений или на поверхности кристаллов — определяются термодинамическими и кинетическими факторами. На состав эндогенных включений влияют состав и технология производства стали (способ выплавки, раскисление, рафинирование).

Несмотря на большое количество исследований, до сих пор не установлена четкая зависимость между степенью чистоты стали и ее свойствами, нет согласованности в вопросе, какая из характеристик включений наиболее опасна с точки зрения воздействия на свойства стали — химический состав, размер, количество или распределение. Противоречивость данных о влиянии включений на свойства стали можно объяснить различием видов стали, технологии ее производства и условий исследования.

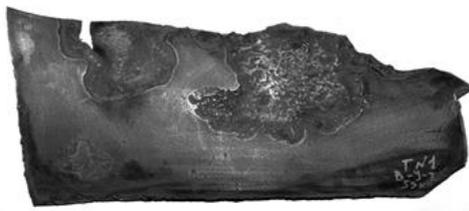
Весьма актуальным является вопрос о влиянии неметаллических включений на коррозионные процессы, в частности на коррозионное растрескивание под напряжением низколегированных трубных сталей. Этот вид разрушения труб МГ является наиболее распространенным и опасным [3].

Для изучения влияния неметаллических включений на разрушения труб магистральных газопроводов (МГ) были проведены исследования металла труб, разрушившихся при авариях.

На сегодняшний день в эксплуатации находятся газопроводы, сооруженные из сталей, выполненных с применением различных способов – нормализованных (17Г1С, 17ГС, 17Г1С-У), термоупрочненных (17Г2СФ, 14Г2САФ и др.) и сталей контролируемой прокатки (Х65, Х70, 09Г2ФБ и др.).

Результаты многочисленных металлографических исследований показали, что наиболее загрязнены по неметаллическим включениям нормализованные стали 17Г1С производства Челябинского трубопрокатного завода (ЧТПЗ) и сталь производства Швеции.

Визуально-измерительный контроль разрушенных при авариях труб показал наличие на наружной поверхности глубоких и обширных коррозионных повреждений в виде пятен, язв, каверн и раковин (рисунок 1). Состояние изоляции в большинстве случаев неудовлетворительное и имеются многочисленные отслоения пленки или открытые участки в битумной изоляции. Электрохимическая защита газопроводов осуществляется посредством станций катодной защиты.



***Рисунок 1. Коррозионные пятна и язвы на наружной поверхности трубы***

Лабораторные исследования показали, что стали имели феррито-перлитную структуру, величина зерна № 7—8. Химический состав сталей и механические характеристики приведены в таблице.

**Таблица 1.**

**Химический состав исследованных сталей и их эксплуатационные характеристики**

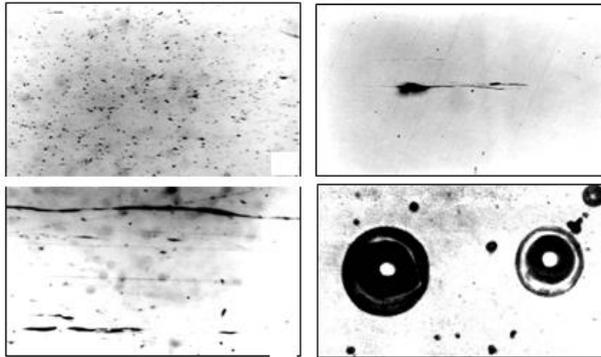
Сталь	Содержание элементов, %					Эксплуатационные характеристики				
	C	Si	Mn	S	P	толщина стенки, мм	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
17Г1С	0,15— 0,22	0,44— 0,62	1,15— 1,55	0,03— 0,082	0,02— 0,03	12,0	579— 586	369— 410	14— 31	58— 64
Швеция	0,15— 0,18	0,4— 0,47	1,58— 1,68	0,03	0,02	8,5	647— 709	432— 555	14,8— 20,0	15,4— 44,1
ТУ 14- 3-109-73	0,15— 0,21	0,4— 0,6	1,15— 1,55	менее 0,02	менее 0,02	-	530— 580	360— 410	20— 30	—

Как видно из таблицы, по основным элементам исследуемые стали соответствуют требованиям ТУ. Отклонением от нормы является повышенное (в 2—4 раза) содержание серы. Выявлено также неоднородное распределение кремния и марганца.

Химический состав может значительно влиять на склонность стали к коррозионным разрушениям. Сера, марганец, кремний в низколегированных конструкционных сталях могут не только растворяться в матрице, но и участвовать в образовании неметаллических включений. Коррозионная стойкость сталей определяется химическим составом всегда присутствующих сульфидных включений.

Виды неметаллических включений и степень загрязненности исследуемых сталей определяли на нетравленных шлифах согласно ГОСТ 1778. Установлено, что в нормализованных сталях производства ЧТПЗ и Швеции присутствуют следующие виды неметаллических включений (рисунок 2):

- оксиды точечные, балл 3—4;
- сульфиды, балл 4—5;
- силикаты пластичные, балл 4—5;
- силикаты недеформирующиеся, балл 2—3.

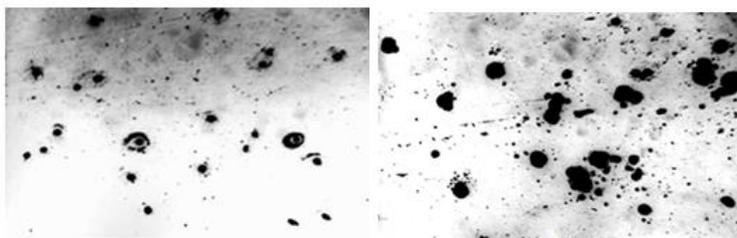


**Рисунок 2. Виды неметаллических включений в стали,  $\times 200$ :  
а — оксиды точечные; б — сульфиды; в — силикаты пластичные;  
г — силикаты недеформирующиеся**

Следует отметить, что сильная загрязненность неметаллическими включениями зафиксирована в сталях лишь вблизи очагов разрушений. Вдали от очагов загрязненность соответствует баллу 2—3.

Металлографическими исследованиями установлено, что наблюдается зависимость образования дефектов в структуре металла от неметаллических включений. На рисунке 3 показано растворение стали вокруг оксидов точечных, которое произошло с образованием пор и несплошностей во внутренних объемах металла. Поскольку изоляция в местах аварий трубопроводов имела многочисленные повреждения, происходит взаимодействие грунтового электролита с поверхностью трубы, что способствовало протеканию химической адсорбции. Проявляется электрохимическая гетерогенность поверхности стали с неметаллическими включениями, увеличивающаяся при наличии внешних напряжений.

Включения являются катодами по отношению к металлической матрице, что приводит к электрохимическому растворению металла вокруг включений при воздействии почвенного электролита [1; 2].

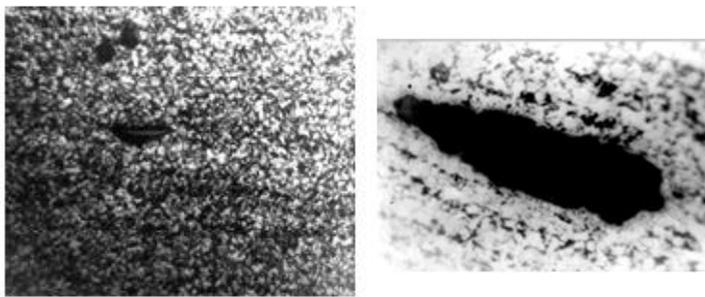


а

б

**Рисунок 3. Растворение стали вокруг оксидов,  $\times 200$ : а — точечных; б — с образованием пор**

Неметаллические включения, в частности сульфиды, также являются «ловушками» для водорода, где он скапливается с образованием пустот и несплошностей (рисунок 4).



а

б

**Рисунок 4. Растворение стали,  $\times 200$ : а — около сульфида; б — с образованием несплошности**

В трубах производства Швеции, где аварии происходили вследствие критического коррозионного утонения стенки трубы, выявлено повышенное содержание неметаллических включений вблизи наружной поверхности труб. Наиболее чувствительные места для зарождения питтингов — сульфиды и оксисульфиды. Питтинги возникают на самих сульфидах или на сульфидной оболочке, окружающей оксиды. Питтинги начинаются с зарождения узкой канавки вокруг включения, которая некоторое время сохраняет свою

целостность. По мере расширения и углубления канавки происходит постепенное разрушение самого включения, его растворение и удаление из питтинга.

Выполненные исследования позволяют заключить, что при производстве трубных сталей необходимо проводить их очистку и модифицирование неметаллических включений. Обработка силико-кальцием и редкоземельными металлами способствует глобуляризации сульфидных неметаллических включений и повышает сопротивление разрушению.

Действующими нормативными документами (ТУ, стандартами) на производство газопроводных труб и, собственно, сталь листовую, данные требования не регламентированы. Для гарантированной поставки высококачественных труб необходимо дооснащение листо-прокатных станов диагностическими установками для выявления зон неметаллических включений с уровнем более 1—2 балла (по ГОСТ 1778).

### **Список литературы:**

1. Конакова М.А., Волгина Н.И. Формирование коррозионных повреждений на трубах магистральных газопроводов из сталей, полученных методом контролируемой прокатки. Ремонт, восстановление, модернизация, — № 3, — 2002, — с. 23—26.
2. Королев М.И., Волгина Н.И., Салюков В.В., Колотовский А.Н., Воронин В.Н. Ремонт магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением. «Ремонт, восстановление, модернизация», — № 12, — 2004, — с. 6—10.
3. Ремизов В.В., Тухбатуллин Ф.Г., Королев М.И., Карпов С.В., Волгина Н.И., Салюков В.В. Коррозионное растрескивание труб под напряжением — основная причина аварий магистральных газопроводов. Газовая промышленность. Серия: Ремонт трубопроводов. Научно-технический сборник № 4. М.: ИРЦ Газпром, 2001, — с. 3—12.
4. Явойский В.И., Рубенчик Ю.И., Оженко А.П. Неметаллические включения и свойства стали. М.: Металлургия, 1980. — 174 с.

## **СЕКЦИЯ 4.**

### **СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

#### **МЕТОДИКА СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ**

***Амоян Миша Фрикович***

*студент 3 курса, Саратовский Государственный  
Технический Университет им. Гагарина Ю.А.,*

*РФ, г. Саратов*

*E-mail: [ezid-007@yandex.ru](mailto:ezid-007@yandex.ru)*

***Алиев Ариз Алихан оглы***

*студент 2 курса, Саратовский Государственный  
Технический Университет им. Гагарина Ю.А.,*

*РФ, г. Саратов*

*E-mail: [164apple164@gmail.com](mailto:164apple164@gmail.com)*

***Ким Алексей Юрьевич***

*д-р техн. наук, профессор кафедры ТСК, Саратовский  
Государственный Технический Университет им. Гагарина Ю.А.,*

*РФ, г. Саратов*

# STATIC CALCULATION NONLINEAR PNEUMATIC STRUCTURES TAKING INTO ACCOUNT THE GEOMETRIC NONLINEARITY

*Amoyan Misha*

*3-d year student, Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin,  
Russia, Saratov*

*Aliev Ariz*

*2-nd year student, Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin,  
Russia, Saratov*

*Kim Alexey*

*doctor of Technical Sciences, professor  
of the Department "Theory of structures and constructions",  
Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin,  
Russia, Saratov*

## АННОТАЦИЯ

В статье излагается методика расчета нелинейных мембранно-пневматических систем с учетом геометрической нелинейности.

Авторами статьи произведено численное исследование статической работы пневматического сооружения итерационным методом последовательных нагружений, который позволяет учитывать геометрическую нелинейность системы.

## ABSTRACT

The article describes the method of calculating nonlinear membrane-pneumatic systems taking into account the geometric nonlinearity.

The authors have produced numerical investigation of static pneumatic structures iterative method of successive loadings, which allows to take into account the geometric nonlinearity of the system.

**Ключевые слова:** итерационный метод; мембранно-пневматические сооружения; вантово-стержневые системы.

**Keywords:** iterative method; membrane pneumatic constructions; cable-core system.

Пневматические сооружения появились в 1949 году с помощью серии экспериментов, в отличие от других сооружений сразу на натурных моделях. Так было быстрее и дешевле. Когда были нужны десятки таких объектов, этот метод оправдывал себя, лишь, когда

в шестидесятых годах прошлого века потребовалось тысячи таких сооружений спортивного назначения появились методы расчета.

Задача определения напряженно-деформированного состояния воздухоопорных оболочек по заданной начальной форме и известным нагрузкам в то время решалась на основе элементарной, технической и математической теорий мягких оболочек.

Для расчета воздухоопорных оболочек, объем которых нельзя считать замкнутым, расчетчики допускали предположение о постоянстве избыточного давления. При сравнительно медленном нарастании нагрузок такая предпосылка вполне приемлема.

При быстро же растущих нагрузках, например порывах ветра, правильнее рассматривать оболочку как замкнутый объем, так как воздух при быстро меняющемся объеме в таком сооружении не успевает полностью выйти: стравливающие и обратные клапаны мгновенно не срабатывают и оболочка часто рвалась.

К началу семидесятых годов прошлого века для расчета воздухоопорных сооружений стали применять следующие программы: LISA, DIANA, SOLVIA в них использовали метод конечных элементов (МКЭ). Конструкция сооружения расчленяется на множество элементарных конечных элементов (тросовый элемент, мембранный элемент, балочный элемент и т. д.), реакции, которых на приложенные к ним деформации и усилия программируются для автоматизированного расчета на ЭВМ. После того как реальная конструкция представлена расчетчиком в виде совокупности конечных элементов, ЭВМ рассчитывает по программе жесткостные характеристики всех элементов и действующие в элементах усилия, объединяя полученные данные в систему уравнений равновесия. В результате решения разрешающей системы уравнений определяются перемещения узлов, по которым также в соответствии с программой рассчитывают деформации и напряжения в каждом из конечных элементов.

Математическая теория мягких оболочек отличается наиболее строгим подходом. Ее цель — определение напряженно-деформированного состояния мягкой оболочки с учетом нелинейных связей как между деформациями и усилиями (физическая нелинейность), так и между деформациями и перемещениями (геометрическая нелинейность). Теорию отличает сложность уравнений, которая существенно возрастает при дальнейших уточнениях расчетной схемы, например при учете изменений нагрузок при формоизменениях оболочки или при больших её деформациях.

Известные методики статического расчёта простейших пневматических систем основаны на применении как линейной, так и нели-

нейной системы интегро-дифференциальных уравнений равновесия покрытия, но предполагают постоянство давления воздуха в полости при нагружении, т. е.  $P = \text{const.}$  или, другими словами, предполагают, что в уравнениях  $V = \text{const.}$ , где  $V$  — объём замкнутой полости покрытия. В то же время расчётная величина давления, постоянного в процессе нагружения системы, в необходимых случаях принималась с учётом температуры окружающей среды  $T$ . Программные комплексы, описанные ранее, не создавались для расчёта систем, в которых герметичные полости существенно изменяются в объёме от действия нагрузок [1].

При расчете мембранно-пневматических систем проф. Ким А.Ю. предложил учитывать упругие свойства воздуха, закаченного в герметически замкнутую полость сооружения, т.е. учитывать влияние на давление  $P$  упругих перемещений поясов линзообразного покрытия. При этом приращение объёма  $V$  определяется в зависимости от давления  $P$  и температуры  $T$  воздуха в замкнутой полости пневмолинзы. Если прежде расчет линзообразной мембранно-пневматической системы сводился проектировщиками к условному расчету предельного состояния её несущего и напрягающего поясов в отдельности. Профессор Ким А.Ю. создал алгоритм, который позволил учесть сжимаемости пневмолинзы и изменения давления воздуха в ней от совокупности всех параметров. Прежний приближенный расчет, далекий от описания действительной работы сооружения, не всегда позволял проектировщикам обеспечить необходимую надежность и долговечность сооружения (так, около половины эксплуатируемых мембранно-пневматических сооружений преждевременно разрушилось от ветровых нагрузок). На основании данного алгоритма профессором Кимом А.Ю. и группой аспирантов была создана программа «Пневматика», которая позволяет учитывать упругие свойства воздуха, закаченного в герметически замкнутую полость сооружения, Из универсального уравнения состояния газа

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{PV}{T}, \quad (1)$$

объединяющего известные законы Бойля-Мариотта и Гей-Люссака, в котором параметры  $P_1$ ,  $V_1$ ,  $T_1$  характеризуют систему на конечной стадии монтажа, а  $P^0$ ,  $V^0$ ,  $T^0$  на начальной стадии.

С учетом зависимостей  $P = P_1 + \Delta P$ ,  $V = V_1 + \Delta V$ ,  $T = T_1 + \Delta T$

вывели  $\Delta P = \frac{P}{T} \Delta T - \frac{P_1}{V} \Delta V$  данную формулу. (2)

Вычисляем приращение объема  $\Delta V$  замкнутой полости (помещения, пневмолинзы или нескольких пневмолинз, если они являются сообщающимися сосудами) в зависимости от вертикальных прогибов поясов покрытия на произвольном шаге  $n$  нагружения системы.

$$\Delta P_n^{(c)} = p_n^{(c)} = \frac{P^0}{T^0} \Delta T_n - \frac{P_1}{V^0} \Delta V_n. \quad (3)$$

Данная формула позволяет т. е. учитывать влияние на давление  $P$  других перемещений поясов линзообразного покрытия при изменении геометрии системы сооружения. Геометрическая нелинейность возникает при больших перемещениях и деформациях элементов, что сравнительно часто встречается в воздухоопорных сооружениях. Пакет прикладных программ «Пневматика» предназначен для статического и динамического расчета на ЭВМ плоских и пространственных линзообразных, воздухоопорных и комбинированных мембранно-пневматических систем итерационным методом приращений параметров на основе континуальных и дискретных расчётных схем с учетом геометрической нелинейности [2].

Численное исследование авторов статьи показало, что различие между экспериментальными и теоретическими значениями прогибов линзообразного покрытия сооружения и его модели составило 5—14 % для локальных нагрузок и 5—8 % для распределенных по всему пролету нагрузок. Давление воздуха в пневмолинзе при этом определяется с погрешностью 1—2 % [2].

Исследования авторов статьи показали, что отсутствие учёта нелинейной упругости воздуха, заключённого в пневматические полости, при расчёте линзообразных и воздухоопорных систем может исказить вычисляемые прогибы или усилия в поясах в два раза и более.

Цель исследований состоит в создании новых конструктивных форм мембранно-пневматических сооружений гражданского и военного назначения, отличающихся экономичностью и простотой возведения в условиях мирового кризиса и международных санкций против РФ.

### **Список литературы:**

1. Ермолов В.В. Воздухоопорные здания и сооружения. М.: Стройиздат, 1980. — 304 с.
2. Ким А.Ю. Численное исследование нелинейных мембранно-пневматических систем. СГАУ, Саратов, 2001. — 263 с. Монография депонирована в ВИНТИ РАН 28.04.01 № 1122 — В2001.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ УТИЛИЗАЦИИ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА В КАЧЕСТВЕ АКТИВНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ**

***Кравцов Алексей Владимирович***

*аспирант*

*кафедры технологии, организации и экономики строительства  
Костромской государственной сельскохозяйственной академии,*

*РФ, г. Кострома*

*E-mail: [kravtsov1992@yandex.ru](mailto:kravtsov1992@yandex.ru)*

***Цыбакин Сергей Валерьевич***

*канд. техн. наук, зав. кафедрой*

*технологии, организации и экономики строительства, доцент  
Костромской государственной сельскохозяйственной академии,*

*РФ, г. Кострома*

*E-mail: [sv44kostroma@yandex.ru](mailto:sv44kostroma@yandex.ru)*

***Пронина Светлана Игоревна***

*студент 4 курса*

*Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова,*

*РФ, г. Кострома*

*E-mail: [svetlana.pronina.1994@mail.ru](mailto:svetlana.pronina.1994@mail.ru)*

# ENVIRONMENTAL PREREQUISITES OF COOPER SLAG RECYCLING AS AN ACTIVE MINERAL ADMIXTURE IN CONCRETES

***Kravtsov Alexey***

*postgraduate student of Technology, organization and economics  
of building department of Kostroma State Agricultural Academy,  
Russia, Kostroma*

***Tsibakin Sergey***

*candidate of Science, Head of the Technology,  
organization and Economics of building department,  
assistant professor of Kostroma State Agricultural Academy,  
Russia, Kostroma*

***Pronina Svetlana***

*student of the 4th course of Nekrasov Kostroma State University,  
Russia, Kostroma*

## АННОТАЦИЯ

В данной статье изучены характеристики загрязнения Уральского федерального округа отходами металлургического производства. Предложено использование медеплавильного шлака в качестве активной минеральной добавки для бетонов. Данное направление является актуальным в современной науке в связи с растущими темпами и объемами строительного производства, в частности, бетонных работ, важным фактором эффективности которых выступает использование новых комплексных добавок на основе отходов промышленности. Представлены результаты химического анализа медеплавильного шлака (купершлака).

## ABSTRACT

Characteristics of polluting the Ural federal district with by-products of metallurgical industrial enterprises are studied in this article. Metallurgy manufacture by-products pollute of Ural federal district are studied in this article. It is proposed to use cooper slag as an active mineral admixture in concretes. This trend is relevant for today's science because of growing rates and scales of building production, in particular, concrete works. Presence of new complex admixtures made from industrial by-products in concretes is an essential indicator of their (materials) effectiveness. The results of cooper slag chemical analysis are presented.

**Ключевые слова:** экологическая ситуация; Уральский федеральный округ; отход; шлак; купершлак; активная минеральная добавка; химический анализ.

**Keywords:** ecological environment; Ural federal district; waste material; slag; cooper slag; active mineral admixture; chemical analysis.

**Введение.** В настоящее время в результате постоянного роста объемов строительства в России вопросы, связанные с поисками возможных альтернативных строительных материалов, становятся актуальными. Разработка этих вопросов позволит решить ряд острых проблем таких, как истощение природных ресурсов, сохранение окружающей среды. Использование техногенных отходов взамен природных материалов обеспечивает решение многочисленных экологических и сырьевых проблем строительства: природные ресурсы, используемые в строительном производстве, относятся к категории невозобновляемых, их добыча сопровождается значимым уроном окружающей экосистеме.

Углубление научных исследований в области строительного материаловедения позволяет осуществить рациональную утилизацию техногенных отходов, основным источником которых является металлургическое производство цветных и черных металлов при производстве строительных материалов. Высокое содержание ценных тяжелых металлов обуславливает целесообразность их извлечения и вторичного использования, тем более, что разнообразие химического состава исходных компонентов переработки дает возможность получить разные материалы с заданными свойствами. Однако эффективное извлечение ценных металлов из шлаков на настоящий момент не обеспечивается, большая их часть сбрасывается в отвалы.

**Описание исследования.** Одним из основных источников техногенных отходов металлургического производства Уральского федерального округа являются шлаки, значительная часть которых не используется и складывается в отвалах, хранилищах и отстойниках. Так, 1 т производимого чистого чугуна образует около 0,6 т доменного шлака и 0,1 т пыли; на 1 т производимой стали приходится 0,15 т сталеплавильного шлака и до 30 кг пыли; на 1 т выпускаемой черновой меди или никеля — до 100 т шлака и до 50 кг пыли. Это связано с низким содержанием исходных металлов в ископаемой руде. Так, например, медная руда (минералы халькопирит и халькозин) содержит 0,3—1,1 % меди. Только в Челябинской области ежегодно образуется металлургических отходов более 5 млн. т. [2, с. 4].

Таким образом, шлаки составляют 80 млрд. т., основная часть их располагается на Урале, что является одной из наиболее явных причин экологического загрязнения данной территории.

В технологическом цикле металлургическими предприятиями используется большое количество воды, что обуславливает расположение их вблизи водных объектов. Вследствие этого большинство металлургических шлаков складывается в отвалах на берегах рек и водоемов открытым способом. При таком способе складирования отвал металлургических шлаков является источником вторичного загрязнения окружающей среды. Под воздействием атмосферных осадков и в результате выветривания происходит выщелачивание из металлургических шлаков ионов тяжелых металлов (меди, никеля, кобальта) и ионов жесткости, что приводит к эмиссии загрязняющих веществ в воздух, объекты гидросферы и почву. Так, проведенные оценки воздействия отвалов металлургических шлаков на состояние находящихся вблизи рек, их донных отложений, подземных вод показали существенное негативное влияние отвалов [7, с. 229], в частности, были зафиксированы превышенные значения предельно допустимой концентрации тяжелых металлов, изменения минерального и микрокомпонентного состава донных отложений [1, с. 40].

В настоящее время вторичному использованию шлаков в относительно больших объемах подлежат отходы доменных и сталеплавильных печей, применяемые в качестве закладочного материала при отсыпке дорог, а также для строительных бетонов и растворов. Гораздо меньшему использованию подвергаются шлаки цветной металлургии, среди которых наибольший объем занимают шлаки медного, никелевого и свинцового плавильного производства, частично используемые для изготовления медистого чугуна и медноцинкового сплава.

Уровень вторичного использования всех видов шлаков не превышает 28 % в год [5, с. 221]. Объем использования сталеплавильных и доменных шлаков составляет 65 %, в то время как объем использования медеплавильных шлаков — менее 5 %, что является причиной разработки технологии утилизации и вторичного использования шлаков медеплавильного производства [3, с. 8].

Среди существующих способов вторичной переработки медных шлаков известны следующие виды:

1. переработка шлаков путем термической плавки с последующим барботажем газообразных восстанавливающих реагентов, таких как, смесь природного газа с кислородсодержащими газами [9, с. 183—184];

2. переработка шлаков путем восстановительной плавки в присутствии сульфидизаторов пиритосодержащих материалов [6, с. 179—183];

3. одностадийная или многостадийная переработка шлаков путем карбидотермической плавки шихты, содержащей исходный шлак и восстанавливающие реагенты [10, с. 210—211].

Существенным недостатком вышеперечисленных способов является необходимость применения пиритосодержащего сырья, что способствует привлечению дополнительных объемов железных руд (п. 1.2), и необходимость применения дорогостоящих восстанавливающих реагентов (п. 3), что существенно повышает себестоимость переработки шлаков.

Также медеплавильный шлак реализуется через различные организации (ООО «Торговый Дом СХИ» г. Волгоград, ООО ТПП «Сальвия» г. Иркутск, ООО «Родолит» г. Новосибирск, ООО «Союз Успеха» г. Самара, ООО «Карабашский Абразивный Завод» г. Карабаш и др.) в качестве материала для пескоструйной обработки, что способствует частичному решению экологической проблемы Уральского федерального округа.

Наиболее оптимальным средством решения данной проблемы является осуществление утилизации техногенных отходов медеплавильного производства при изготовлении активной минеральной добавки для бетонов, улучшающей его прочностные и технологические характеристики.

Химический анализ медеплавильного шлака (купершлака, от англ. *cooperslag*) предоставленного ООО «Карабашский Абразивный Завод» (Российская Федерация, Челябинская область, г. Карабаш, ул. Киолимская, д. 1) дал следующие результаты:

- оксид железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) — 45,7 %
- оксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ) — 32,0 %
- оксид магния ( $\text{MgO}$ ) — 4,0 %
- оксид кальция ( $\text{CaO}$ ) — 8,9 %
- оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) < 1,0 %

Полученный анализ подтверждает способность медеплавильного шлака к участию в образовании гидросиликата кальция в бетонной смеси по причине высокого содержания оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) и наличие вяжущих свойств шлака при его высокой удельной поверхности в результате помола ( $S_{уд} > 2500 \text{ см}^2/\text{г}$ ) из-за относительно высокого содержания оксида кальция ( $\text{CaO}$ ).

**Заключение.** Приведенная информация об экологической ситуации Уральского федерального округа и результаты химического анализа подтверждают возможность применения купершлака в качестве

тонкомолотой активной минеральной добавки для бетонов. В связи с этим на кафедре «ТОиЭС» АСФ ФГБОУ ВПО КГСХА начата работа, связанная с утилизацией купершлака в технологии бетонов.

Перспективы направления переработки купершлака связаны с его активированием для получения химически активных добавок к бетонам. В настоящее время осуществляются дальнейшие исследования в данном направлении.

### **Список литературы:**

1. Брызгалов С.В. Утилизация металлургических шлаков при производстве железобетонных свай // Экология и промышленность России. — 2008. — № 7. — С. 40—43.
2. Гудим Ю.А., Голубев А.А. Эффективные способы утилизации отходов металлургического производства Урала // Экология и промышленность России. — 2008. — № 12. — С. 4—8.
3. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2007. — С. 368.
4. Касиков А.Г., Проблемы и перспективы вовлечения в хозяйственный оборот отвалных продуктов медно-никелевого производства // Развитие Севера и Арктики: проблемы и перспективы: Материалы межрегиональной научно-практической конференции (Апатиты, 14—16 ноября 2012 г.) Апатиты, 2012. — С. 288.
5. Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: учебно-справочное пособие. Ростов н/Д.: Феникс, 2007. — С. 221.
6. Купряков Ю.П. Шахтная плавка вторичного сырья цветных металлов: монография. М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1995. — С. 164.
7. Максимович Н.Г., Меньшикова Е.А., Блинов С.М., Влияние отходов металлургического производства на состояние р. Чусовой. // Геодинамика и геоэкология: Материалы международной конференции Архангельск, 1999. — С. 227—229.
8. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 3. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003. — С. 1024
9. Худяков И.Ф., Кляйн С.Э., Агеев Н.Г. Металлургия меди, никеля и кобальта. ч.1: учебник для вузов по специальности «Металлургия цветных металлов». М.: Metallurgia, 1977. — С. 295.
10. Худяков И.Ф., Кляйн С.Э., Агеев Н.Г. Металлургия меди, никеля, сопутствующих элементов и проектирование цехов: учебник для вузов по специальности «Металлургия цветных металлов». М.: Metallurgia, 1993. — С. 431.

## СЕКЦИЯ 5.

### ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОАДГЕЗИОННОЙ РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО И ИЗОПРЕНОВОГО КАУЧУКОВ

*Мустафаева Рена Эльдаровна*

*младший научный сотрудник,*

*Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия,*

*Республика Азербайджан, г. Баку*

*E-mail: [rena-babaeva0@rambler.ru](mailto:rena-babaeva0@rambler.ru)*

#### INVESTIGATION OF ADHESION RUBBER MIXTURES ON THE BASIS OF ISOPRENE AND MODIFIED BY BUTADIENE-STYROL RUBBERS

*Mustafaeva Rena*

*junior researcher, Azerbaijan State Oil Academy,*

*Republic of Azerbaijan, Baku*

#### АННОТАЦИЯ

Разработаны резиновые смеси на основе изопренового и модифицированного олигоэфирметакрилатом эпихлоргидрина бутадиен-стирольного каучуков и исследован комплекс свойств их вулканизатов. Показано, что полученные резины обладают улучшенными показателями деформационно-прочностных, адгезионных свойств и термической стабильности.

#### ABSTRACT

Rubber mixtures have been developed on the basis of isoprene and modified oligoefirmetacrylate epichlorhydrine butadiene-styrol rubbers and complex of properties of their vulcanizates has been investigated. In has been shown that obtained rubbers have improved indices of deformation-strength, adhesive properties and thermal stability.

**Ключевые слова:** резиновые смеси; изопреновый каучук; бутадиен-стирольный каучук; механо-химическая модификация.

**Keywords:** rubber mixtures; izopren rubber; butadiene-styrol rubber; mechano-chemical modification.

К композиционным материалам на основе эластомеров, прежде всего, относятся резины различного назначения. Несмотря на то, что каркасная резина на основе смеси бутадиен-стирольного (СКС-30АРКМ-15) и изопренового (СКИ-3) каучуков обладает удовлетворительными технологическими и эксплуатационными свойствами в настоящее время производятся исследования по разработке новых составов с использованием доступных компонентов с целью улучшения их физико-механических и эксплуатационных свойств [1].

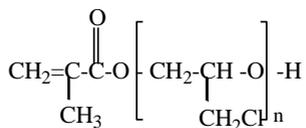
Каркасные резины должны обладать большой прочностью при растяжении, эластичностью, сопротивлением многократным деформациям, тепловому старению, низким теплообразованием и обеспечивать необходимую прочность связи с кордом. Межслоевая резина деформируется одновременно со слоями, а также испытывает деформации сдвига, которые обусловлены взаимным перемещением соседних слоев. Прочность связи между кордом и резиной должна быть по возможности максимальной, так как при этом уменьшается теплообразование и предрасположение каркаса шины к расслаиванию. Резина каркаса участвует в распределении нагрузок между нитями и слоями корда, уменьшает воздействие на корд ударных нагрузок, предохраняет его от взаимного перетирания и частично от увлажнения.

Для улучшения механических свойств резин и повышения прочности связи их с шинным кордом применяют модификаторы. Для резиновых смесей на основе СКС-30 АРКМ-15 и СКИ-3 в промышленном масштабе применяется дорогой и остродефицитный резорцин-уротропиновый комплекс РУ-1 [2], который повышает прочность связи каркасных резиновых смесей с шинным кордом, но не обеспечивает достаточной стабильности крепления при повышенной температуре и влажности.

В связи с этим нами была предпринята попытка замены в рецептуре каркасной резиновой смеси на основе изопренового (СКИ-3) и бутадиен-стирольного каучуков (СКС-30 АРКМ-15) модификатора РУ-1 на синтезированный реакционноспособный олигомер (РСО) олигоэфир-метакрилат эпихлоргидрина (ОМАЭХГ), имеющий в матрице — простую эфирную связь, С1- и концевую гидроксильную группу [2].

С учетом вышеизложенного, проведена механо-химическая модификация бутадиен-стирольного каучука (БСК) и разработаны резиновые смеси на основе изопренового и модифицированного олигоэфирметакрилатом эпихлоргидрина бутадиен-стирольного каучуков.

Для модификации бутадиен-стирольного каучука (СКС-30 АРКМ-15) использован олигоэфирметакрилат эпихлоргидрина (ОМАЭХГ) с содержанием хлора 36 %, в количестве 2—3 мас. ч на 100 мас. ч бутадиен-стирольного каучука.



Модификацию бутадиен-стирольного каучука олигоэфирметакрилатом эпихлоргидрина (ОМАЭХГ) проводили непосредственно при изготовлении резиновой смеси. Для этого бутадиен-стирольный каучук предварительно смешивали с олигомером, после чего вводили изопреновый каучук СКИ-3, а затем остальные ингредиенты

Опытные резиновые смеси, наряду со стандартной резиновой смесью, готовились на лабораторных вальцах при 25—30 °С. Общая продолжительность смешения составляла 20—25 мин. Вулканизацию смесей осуществляли в течение 15 мин. при температуре 423 К.

Одним из эффективных путей повышения прочности связи в системе «корд-адгезив-резина» является усиление взаимодействия компонентов адгезива и каркасной резины в граничном слое, сопровождающееся образованием прочной сетки. Определяющую роль в адгезии имеют химическая природа адгезива и субстрата, то есть тип и количество функциональных групп на поверхности адгезива и субстрата и их способность к взаимодействию. Характеристикой прочности адгезионного соединения служат прочностные показатели, сопротивление раздиру и разрыву, предел прочности при изгибе и растяжении и т. д.

Вулканизационные характеристики смесей оценивались на ротометре фирмы «MONSANTO» при угле колебания ротора — 1°. Лучшие показатели достигаются при введении в резиновые смеси ОМАЭХГ с  $\bar{M}$  2000 и 4000.

Исследован комплекс свойств вулканизатов, полученных на основе смеси изопренового и модифицированного олигоэфирметакрилатом эпихлоргидрина бутадиен-стирольного каучуков.

Установлено, что необходимая плотность вулканизационной сетки и уровень показателей физико-механических свойств указанных резин достигается в 2 раза быстрее, по сравнению с резиновыми смесями на основе не модифицированного БСК. Увеличение скорости вулканизации обусловлено присутствием хлора, который может реагировать с оксидом цинка в составе резин, образуя соли активных Cl-групп, связанных с метильными группами, и возможностью отщепления HCl при температуре 120—150 °С с образованием в макромолекуле бутадиен-стирольного каучука дополнительных ненасыщенных связей.

Рецептура резиновых смесей представлена в табл. 1, а физико-механические показатели вулканизатов в табл. 2. Проведено сравнение физико-механических и эксплуатационных свойств вулканизатов разработанной резиновой смеси с существующей каркасной резиновой смесью.

Как видно из данных таблицы 2, в отличие от базового варианта при использовании в резиновой смеси композиции СКИ-3 и модифицированного олигоэфирметакрилатом эпихлоргидрина СКС-30 АРКМ-15, улучшаются показатели прочности при растяжении, условного напряжения при 100 и 300 %-ном удлинении, сопротивления раздиру и усталостной выносливости при многократном растяжении вулканизатов.

Наличие реакционноспособных функциональных -Cl, -ОН и эфирных групп в БСК, модифицированном олигоэфирметакрилатом эпихлоргидрина, улучшает совместимость полимеров в межфазной зоне и способствует повышению адгезионной прочности резины с шинным кордом.

Так, прочность связи резин с шинным кордом марки 25 КНТС у вулканизатов модифицированных резиновых смесей даже при 120 °С выше той, что имеет стандартная резина при нормальных условиях. Это позволило исключить использование в составе резины остродефицитного модификатора РУ-1, а сокращение времени вулканизации приведет к экономии серы, избыток которой оказывает отрицательное влияние на свойства вулканизатов.

Модифицированный бутадиен-стирольный каучук олигоэфирметакрилатом эпихлоргидрина способствует улучшению адгезии между полимерными фазами препятствуя процессу их разделения и улучшает совместимость полимеров в межфазной зоне. Наличие простой эфирной группировки в олигомерной цепи ОМАЭХГ, а также атома хлора обеспечивает улучшение адгезионных свойств модифицированных резин, а именно повышает прочность связи резины

с шинным кордом и обеспечивает стабильность крепления при повышенной температуре и влажности.

**Таблица 1.**

**Составы резиновых смесей**

Компоненты	Содержание компонентов, мас.ч.		
	Резиновая смесь 2рБ-1824	Предлагаемые	
		1	2*
Изопреновый каучук СКИ-3	70	70	70
Бутадиен-стирольный каучук (СКС-30 АРКМ-15)	30	-	-
Бутадиен-стирольный каучук(СКС-30 АРКМ-15), модифицированный олигоэфирметакрилатом эпихлоргидрина (ОМАЭХГ)	-	30	30
Регенерат РШТ	20	20	20
Сера	2,2	2,2	2,2
Сульфенамид «Ц»	1,0	1,0	1,0
Альтакс	0,3	0,3	0,3
Белила цинковые	4,0	4,0	4,0
Стеарин	2,0	2,0	2,0
Канифоль	1,0	1,0	1,0
Рубракс	4,0	4,0	4,0
Неозон-Д	1,0	1,0	1,0
Стирол-инденовая смола	2,0	2,0	2,0
N-нитрозодифениламин	1,0	1,0	1,0
Микровоск	2,0	2,0	2,0
Модификатор РУ-1	2,0	-	-
Диафен ФП	1,5	1,5	1,5
Масло ПН-6 Ш	4,0	4,0	4,0
Технический углерод П-514	50	50	50

*Примечание: компоненты, взяты в мас.ч на 100 мас.ч смеси (СКИ-3 + СКС-30 АРКМ-15)*

*2\* — ОМАЭХГ взят в количестве 2 мас.ч на 100 мас.ч СКС-30 АРКМ-15*

*3\*\* — ОМАЭХГ взят в количестве 3 мас.ч на 100 мас.ч СКС-30 АРКМ-15*

Таблица 2.

**Физико-механические показатели вулканизатов резиновых смесей**

Наименование показателей	Показатели		
	Резиновая смесь 2рБ-1824	Предлагаемые	
	1	2	3
Условная прочность при растяжении, МПа	20,5	22,5	24,2
Условное напряжение при 100 % удлинении, МПа	2,1	3,7	4,0
Условное напряжение при 300 % удлинении, МПа	8,9	9,7	10,4
Относительное удлинение, %	536	510	520
Относительное остаточное удлинение, %	26	22	23
Сопrotивление раздиру, кН/м	63,5	70,8	72
Эластичность по отскоку, %	42	43,5	43,8
Твердость по ТМ-2, в услов.един.	59	58	57
Прочность связи резины с кордом марки 25 КНТС, по Н-методу, кН·10 <sup>-2</sup> 23 °С	3,9	6,6	7,1
100 °С	3,4	5,4	5,9
120 °С	3,1	4,8	5,7
Усталостная выносливость при многократном растяжении (E <sub>дин</sub> =200%, V=250цикл/мин., T=293К), тыс.цикл	8,9	14	15,1
Коэффициент теплового старения при 373К в течение 72 ч.: по прочности по относительному удлинению	0,56	0,59	0,61
	0,40	0,43	0,44
Коэффициент теплостойкости при 373К, по: по прочности по относительному удлинению	0,81	0,85	0,87
	0,77	0,78	0,79

**Список литературы:**

1. Билалов Я.М., Ибрагимов С.М., Мовлаев И.Г. Модифицирующие добавки в несовместимых полимерных системах. // Каучук и резина. — 1998. — № 3. — С. 9—12
2. Мустафаева Р.Э. Модификация резиновой смеси на основе бутадиенстирольного и изопренового каучуков олигоэфирметакрилатом эпихлоргидрина.// Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. М., 2013, — С. 23—25.

## СЕКЦИЯ 6.

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

#### ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ОБРАБОТКИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ХРАНЕНИЯ ГРАНАТОВОГО СОКА НА СОХРАННОСТЬ АНТОЦИАНОВ

*Гафизов Гариб Керим оглы*

*канд. техн. наук, заведующий лаборатории биохимии  
и переработки плодов Азербайджанского научно-исследовательского  
института садоводства и субтропических культур,  
Республика Азербайджан, г. Губа  
E-mail: [hafizov-54@mail.ru](mailto:hafizov-54@mail.ru)*

*Гафизов Самир Гариб оглы*

*специалист по процессам и аппаратам пищевых производств  
лаборатории биохимии и переработки плодов Азербайджанского  
научно-исследовательского института садоводства  
и субтропических культур,  
Республика Азербайджан, г. Губа  
E-mail: [hafizovsamir@bk.ru](mailto:hafizovsamir@bk.ru)*

#### EFFECT OF THE PROCESSING METHOD AND STORAGE TEMPERATURE OF POMEGRANATE JUICE ON THE SAFETY OF ANTHOCYANINS

*Qarib Hafizov*

*candidate of technical sciences, head of the laboratory  
of biochemistry and processing of fruit of Azerbaijan Science Research  
Institute of Horticultural and Subtropical Crops,  
Republic of Azerbaijan, Quba*

*Samir Hafizov*

*Specialty in processes and equipment for food production in the laboratory of biochemistry and processing of fruit of Azerbaijan Science Research Institute of Horticultural and Subtropical Crops, Republic of Azerbaijan, Quba*

### **АННОТАЦИЯ**

Показано как изменяется содержание антоцианов, а значит и антиоксидантная активность гранатового сока в начальной стадии его получения и при хранении в качестве готового продукта. Установлено, что обычными технологическими приёмами не удаётся достичь значительного эффекта в стабилизации природных антоцианов, потери их продолжают непрерывно до полного исчезновения. При хранении соков неравнозначность действия температур +18...+22° и 0...+3 °С больше сказывается на антоцианах и катехинах по сравнению с аскорбиновой кислотой.

### **ABSTRACT**

It is demonstrated how the anthocyanins content, and thus the antioxidant, activity of pomegranate juice, changes in the early stages of its production and storage as finished product. It is found that conventional techniques can not achieve a significant effect in stabilizing of the natural anthocyanins, losing their last no continuously until the complete disappearance. When storing juices none quivalence action temperature +18 ... +22<sup>0</sup> C and 0...+ 3<sup>0</sup>C more effect on anthocyanins and catechins compared with ascorbic acid.

**Ключевые слова:** гранатовый сок; технологическая обработка; хранение; аскорбиновая кислота; катехины; деградация антоцианов.

**Keywords:** pomegranate juice; technological processing; storage; ascorbic acid; catechins; degradation of anthocyanins.

Гранатовый сок относят к фруктовым сокам с высокой антиоксидантной активностью. Проведенные исследования на мышах и человеке показали, что гранатовый сок способен оказывать антиоксидантное, антиатерогенное, противораковое, гипотензивное и противовоспалительное действие. Кардиопротективный потенциал гранатового сока заслуживает дальнейшего исследования, но уже имеющиеся на сегодняшний день результаты могут послужить основанием для включения его в оздоровительный сердечный рацион [19, с. 5].

Отмечается, что антиоксидантный потенциал гранатового сока выше, чем красного вина и зелёного чая, и индуцируется через

эллаготанины и гидролизованные танины [24, с. 100], а также посредством того, что активные аномерные эллаготанины отвечают за более чем 50 % антиоксидантного потенциала сока [25, с. 2730].

Самые важные факторы, от которых зависит стабильность антоцианов ферменты, температура, кислород, рН, ионы металлов, аскорбиновая кислота, свет и т. д. [18, с. 15].

Ранее мы показали предпочтительность температуры 75<sup>0</sup>С для кратковременной обработки гранатового сока в начальной стадии процесса его получения [15, с. 138].

Нами были также поставлены опыты, в которых из гранатового сока с интенсивным цветом с помощью буферов готовили растворы с разными значениями рН от 1,8 до 8,0. Сразу после приготовления и через 24 часа хранения (при 0...+3<sup>0</sup>С) самой высокой была интенсивность цвета в растворе с рН 5,0. Через 15 суток наиболее интенсивным стал цвет у раствора с рН 4,0, а через 30 суток — у раствора с рН 2,0. Превращения антоцианов в буферных растворах по своему характеру были следующие:

- предельно высокое значение рН, при котором достигается максимум интенсивности цвета за счёт взаимопревращений антоцианов равно 5,0, при этом же значении рН с максимально высокой скоростью идёт снижение интенсивности цвета при хранении растворов;

- в процессе хранения растворов усиление цвета, после которого непременно происходит необратимое снижение его интенсивности, проявляется тем позже, чем ниже значение рН, но при этом оно тем сильнее, чем выше значение рН в пределах их значений от 1,8 до 5,0.

В буферном растворе с самым низким значением рН, равным 1,8, через месяц сохранилось всего 53 % антоцианов к их начальному содержанию. Это позволило прийти к выводу, что низкое рН не может обеспечить в полной мере повышение стабильности антоцианов [14, с. 138].

В опытах, где хранились не буферные растворы, а плоды граната, также происходило увеличение интенсивности цвета их сока уже в первый месяц их хранения при температуре 5<sup>0</sup>С, а след за этим интенсивность цвета сока, т. е. содержание антоцианов также снижалась, причем очень быстрыми темпами [20, с. 1805].

В процессах, сопровождающихся появлением продуктов окисления антоцианов, нарушением стабильности гранатового сока и выпадением осадка, существенная роль отводится аскорбиновой кислоте, катехинам и коллоидам белковой природы [3, с. 62]. Было

показано [11, с. 95], что флавоноиды, в том числе и антоцианы, предохраняют аскорбиновую кислоту от окисления металлами, связывая их в стабильные комплексы.

Содержание лейкоантоцианов и образование осадка в гранатовом соке — явления взаимосвязанные, но при повышенном содержании лимонной кислоты в соке выпадение осадка обычно не происходит [12, с. 112]. В то же время, по результатам анализа сока 16 сортов граната из трёх районов произрастания (Крыма и др.) не обнаружено присутствие в нём лейкоантоцианов [16, с. 37].

В свежих соках азербайджанских сортов гранатов лейкоантоцианы также найдены не были. Однако, после хранения свежесобранных плодов в течение двух недель в обычных условиях, анализы показали появление в соках некоторого количества лейкоантоцианов, мг/л: Гюлейша розовая — 8,4, Гюлейша красная — 11,3, Ириданалы — 5,4, Весна — 2,0 и дикий гранат — 15,2. В соках интенсивно окрашенных сортов (Г. красная, Г. розовая) и интенсивно окрашенном соке дикого граната лейкоантоцианов содержалось больше, чем в слабоокрашенных соках других вышеуказанных сортов [13, с. 70].

Несмотря на эти и другие данные, в технологию производства гранатового сока до сих пор не удалось ввести основной по влиянию на качество этого продукта элемент, роль которого заключалась бы в обеспечении хорошей сохранности антоцианов. Предлагается придерживаться холодной обработки при отжиме сока и фильтровании и хранить готовый продукт при относительно низкой (5 °С) температуре [23, с. 905], а также добавлять на одну часть гранатового сока 0,020 части глюкозы и 0,03 части лимонной кислоты [4, с. 2]. Однако эффективность таких обработок не является достаточно высокой. Между тем, введение в технологию новшества такого характера, наряду с обеспечением выпуска сока с особенно привлекательным цветом, способствовало бы повышению биологической ценности продукта в результате лучшего сохранения в его составе антоцианов. Учитывая это, в качестве первоначальной, была поставлена задача — установить характер превращений антоцианов в вариантах технологии, не предусматривающих использование стабилизатора цвета, и тем самым, подчеркнуть всю важность происходящих в гранатовом соке изменений при хранении его в качестве готового продукта.

Экспериментальные исследовательские работы (описание их результатов дано в таблицах 1—3) проводились в лаборатории биохимии и переработки плодов Азербайджанского научно-исследовательского института садоводства и субтропических культур.

Число технологических экспериментов по каждому варианту не менее пяти.

Отбор проб для химических анализов проводили по ГОСТ 26313-84 [5, с. 1]. Пробы подготавливали к анализу по ГОСТ 26671-85 [6, с. 2].

Концентрацию сухих растворимых веществ устанавливали рефрактометром по ГОСТ 28562-90 [7, с. 2], аскорбиновой кислоты — по ГОСТ 24556-89 [8, с. 2], титруемую кислотность — по ГОСТ 25555.0-82 [9, с. 2] Массовую долю общего сахара определяли по методу Бертрана ГОСТ 8756.13-87 [10, с. 3].

При расчетах зависимости между концентрацией антоцианов и лейкоантоцианов и оптическими плотностями при проведении определений по методике Свайна и Хиллиса [20, с. 63], исходили из градуировочной кривой, построенной для цианидин-моногликозида, полученному из плодов ежевики и очищенному по методике Ю.Г. Скориковой и Э.А. Шафтан [17, с. 455].

Исходные растворы готовили по методике Ю.Г. Скориковой и Э.А. Шафтан [17, с. 453], которая сводится к фиксации около 10 г сока (точная навеска) в мерной колбе кипящим метанолом, охлаждении ее под краном и доведении метанолом до 100 мл.

Приготовление испытуемых растворов сводилось к следующему. К 1 мл исходного раствора добавляли 9 мл 0,5 н HCL в 80—85 % метаноле, отсюда брали по 4,5 мл в две пробирки, в одну из них добавляли 1,5 мл 3 н HCL в метаноле, в другую — 1,5 мл реактива, состоящего из 9 мл 3 н HCL и 1 мл 30 % перекиси водорода.

Антоцианы гранатового сока являются нестойкими соединениями, которые под действием кислорода, температуры, света легко окисляются до соответствующих хинонов, не способных проявлять антиоксидантную активность [1, с. 34]. Поэтому, оптическая плотность испытуемых кислых растворов определялась до и после обработки их слабой перекисью водорода. После обработки слабой перекисью водорода антоцианы обесцвечиваются, что позволяет из оптической плотности испытуемого раствора против фона чистого метилового спирта до его обработки слабой перекисью водорода, вычесть оптическую плотность этого же испытуемого раствора после его обработки слабой перекисью водорода и по полученной разнице определить содержание собственно антоцианов. В список характеристик гранатовых соков нами также был введен показатель «сумма окрашенных пигментов», который определялся по оптической плотности испытуемого раствора до его обработки слабой перекисью водорода.

При определении суммы лейкоантоцианов брали 1 мл из приготовленного в количестве 100 мл общего с антоцианами исходного раствора, добавляли к нему 1 мл дистиллированной воды для снижения концентрации метилового спирта и разделяли на две равные части. К одной из них добавляли 10 мл кислого бутанола (бутиловый спирт/концентрированная HCl=20: 1), тщательно перемешивали в закрытом стеклянном сосуде, нагревали при 97° С точно 40 минут, затем охлаждали и измеряли оптическую плотность при длине волны 500 нм в кюветах с толщиной рабочего слоя 10 мм (при этой же длине волны и в таких же кюветах определялись собственно антоцианы и сумма окрашенных пигментов) против фона (вторая часть от разбавленного наполовину водой исходного экстракта 1 мл + кислый бутиловый спирт, без нагревания).

Сумму катехинов определяли фотометрическим методом с использованием ванилинового реактива [2, с. 455]. Расчёты вели по градуировочной кривой, построенной по чистому препарату эпикатехина.

Все аналитические определения выполнены в 3-кратной повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel. При этом средняя квадратическая ошибка среднего не превышала 1,5—2,0 %.

Как нами уже было отмечено, снижение концентрации собственно антоцианов и появление в них лейкоантоцианов — это нежелательный процесс с точки зрения сохранения стабильности и натуральности гранатовых соков на исходном уровне.

Из табл. 1 видно, что осветление свежеежатого гранатового сока путём быстрого его подогрева до 75° С, выдерживания 1—3 мин и охлаждения до 35—40° С не приводит появлению в соке лейкоантоцианов, чего нельзя сказать о трёх других испытанных способах осветления. При этом остаётся неясным, как испытанные способы обработки отразятся на сохранении антоцианов после фильтрования, розлива, пастеризации и хранения в качестве готовой продукции.

В табл. 2 дано содержание антоцианов в хранившихся 6 месяцев при температуре +18...+22 °С гранатовых соках, обработанных перед фильтрованием, розливом и пастеризацией по вариантам за номерами: **1** — отжим, процеживание, отстаивание 2 ч., сепарация; **2** — горячий розлив в стеклянные сосуды, выдержка 3 мес., сцеживание с осадка; **3** — осветление желатином 6 ч. при температуре 6...8° С, декантация; **4** — осветление мгновенным подогревом до 75° С и охлаждением до 35° С, **5** — осветление желатином в сочетании с мгновенным подогревом до 75° С и охлаждением до 35° С; **6** — процеживание, осветление 6 ч. желатином [перед отжимом зёрна обработаны острым (80° С) паром]. Из нее видно, что в соках из предыдущего

**Таблица 1.**

**Химические показатели свежееотжатого гранатового сока различных способов осветления (сорт Гюлейша красная)**

Показатели	Способ осветления	6-часовая обработка 1 % р-ом желатина при температуре +7...+8 <sup>0</sup> С	«Мгновенный» подогрев до 75 <sup>0</sup> С за 1—3 мин и охлаждение до 35—40 <sup>0</sup> С	Обработка желатином в сочетании с «мгновенным» подогревом до 75 <sup>0</sup> С и охлаждением до 35-40 <sup>0</sup> С	Обработка желатином [перед отжимом зёрна в течение 2 мин обработаны острым (80 <sup>0</sup> С) паром]
Р-мые сухие вещества, %		16,1	17,2	15,2	15,6
Кислотность, %		1,08	1,08	0,70	0,90
Лейкоантоцианы, мг/л		12,9	0	5,3	4,3
Собственно антоцианы, мг /л		230,7	248,8	211,3	207,3
Сохранность собственно антоцианов, % к начальному содержанию их в свежееотжатом соке (386 мг /л)		59,8	64,5	54,7	53,7

**Таблица 2.**

**Содержание антоцианов в хранившихся 6 мес. при температуре +18...+22<sup>0</sup> С пастеризованных гранатовых соках (сорт Гюлейша красная)**

Показатели	Номера испытанных вариантов технологии					
	1	2	3	4	5	6
Сухие вещества, %	16,0	16,0	16,0	17,0	15,0	15,4
Сумма сахаров, %	13,28	13,23	13,25	14,12	12,76	12,68
Общая кислотность, %	1,08	1,07	1,07	1,09	0,69	0,88
Аскорбиновая кислота, мг%	3,17	2,64	3,17	2,99	2,46	2,64
Сумма окрашенных пигментов , мг /л	255,94	199,64	195,59	172,9	160,31	168,09
Лейкоантоцианы, мг /л	7,4	7,0	10,2	12,6	10,7	3,8
Собственно антоцианы, мг/л	133,3	166,7	190,7	137,3	144,8	138,0
Сохранность собственно антоцианов, % к начальному содержанию их в свежееотжатом соке (386 мг /л)	34,5	43,2	49,4	35,6	37,5	35,8

Из табл. 2 видно, что в соках из предыдущего опыта (варианты за номерами 3—6) через 6 мес. хранения в пастеризованном виде при температуре +18...+22<sup>0</sup>С содержание собственно антоцианов изменяется в пределах 133,3...190,7 мг/л. Сохранность собственно антоцианов в процентах к их исходному содержанию в свежееотжатом соке в лучшем варианте (осветление желатином) составила 49,4 %, в худшем (осветление «мгновенным» подогревом) — 35,6 %. Значит, холодная обработка свежееотжатого сока желатином в этих условиях обеспечивает более высокий процент сохранности, чем обработка свежееотжатого сока «мгновенным» подогревом и охлаждением. Однако, как было установлено нами позже, для длительного хранения соков в охлаждаемых условиях больше подходит обработка свежееотжатого сока «мгновенным» подогревом. Это связано с тем, что процессы деградации антоцианов, катализатором для которых может служить термическая обработка, резко замедляются в условиях низких температур, что создаёт условия для лучшего сохранения первоначально достигнутого эффекта в сохранении антоцианов от кратковременной обработки свежееотжатого сока при температуре 75<sup>0</sup>С. Об этом говорят данные таблицы 3 по хранившимся 6 мес. При температуре 0...+3<sup>0</sup>С гранатовым сокам, которые перед фильтрованием, розливом и пастеризацией подверглись обработке по вариантам: 1 — отжим; процеживание; отстаивание 2 ч., сепарация; 2 — подогрев свежееотжатого процеженного сока до 62<sup>0</sup>С, отстаивание 24 ч., декантация; 3 — осветление желатином в течение 6 ч., декантация; 4 — осветление мгновенным подогревом до 75<sup>0</sup>С и охлаждением до 35<sup>0</sup>С, 5 — осветление танин — желатином в сочетании с мгновенным подогревом до 75<sup>0</sup>С и охлаждением до 25<sup>0</sup>С; 6 — осветление танин- желатином в течение 6 ч., декантация и фильтрование; 7 — осветление желатином в сочетании мгновенным подогревом до 75<sup>0</sup>С и охлаждением до 35<sup>0</sup>С; 8 — горячий розлив в стеклянные сосуды, выдержка 3 мес., сцеживание с осадка; 9 — осветление желатином и подкрашивание растительным (свекольным) красителем (0,03 % и массе сока); 10 — отжим сока из четвертушек плодов, горячий розлив в стеклянные сосуды, выдержка 3 мес., сцеживание с осадка. Из таблицы видно, что сохранность антоцианов в соке, осветленном «мгновенным» подогревом, выше (49,7 %), чем в соке, осветленном желатином (42,7 %). Но в общем нет большой разницы по этому показателю между двумя вышеупомянутыми и другими испытанными вариантами, в зависимости от варианта он варьирует в пределах от 35,9 до

**Таблица 3.**

**Содержание антоцианов в хранившихся 6 мес. при температуре 0...+3<sup>0</sup> С пастеризованных соках (сорт Гюлейша розовая)**

Показатели	Номера испытанных вариантов технологии				
	1	2	3	4	5
Р-мые сухие вещества, %	12,0	12,0	12,0	12,8	13,7
Сумма сахаров, %	10,31	10,13	9,81	10,76	11,04
Общая кислотность, %	1,28	1,31	1,28	1,28	1,28
Аскорбиновая кислота, мг%	3,52	3,34	3,40	3,60	3,17
Сумма окрашенных пигментов, мг/л	147,9	139,2	133,7	149,3	126,1
Лейкоантоцианы, мг /л	6,8	5,8	12,5	4,7	2,4
Собственно антоцианы, мг /л	139,3	136,0	122,0	142,0	120,7
Сохранность собственно антоцианов, % к начальному содержанию их в свежееотжатом соке (286 мг /л)	48,7	47,5	42,7	49,7	42,2
Р-мые сухие вещества, %	12,0	13,6	14,0	12,2	16,7
Сумма сахаров, %	9,88	11,08	11,18	10,26	13,92
Общая кислотность, %	1,29	1,26	1,30	1,32	1,34
Аскорбиновая кислота, мг%	3,27	2,29	2,10	2,64	2,29
Сумма окрашенных пигментов, мг/л	126,3	139,7	193,9	142,6	160,9
Лейкоантоцианы, мг/л	0	0	3,1	0	10,6
Собственно антоцианы, мг/л	102,7	110,0	130,0	111,0	128,7
Сохранность собственно антоцианов, % к начальному содержанию их в свежееотжатом соке (286 мг/л)	35,9	38,5	45,5	38,8	45,0
	34,2	36,7	43,3	37,0	42,9

47,3 %. По тому же показателю соки, хранившихся при температуре +18...+22 °С, мало отличаются от соков, хранившихся при температуре 0...+3 °С. Это объясняется тем, что на сохранность антоцианов влияют не только способ обработки и условия хранения, но и начальное содержание в свежееотжатом соке. Хранившиеся при температуре 0...+3 °С пастеризованные соки были изготовлены из свежееотжатого сока с более низким начальным содержанием антоцианов (286 мг/л), чем хранившиеся при температурах +18...+22 °С (386 мг /л), поэтому и получились результаты по сохранности антоцианов почти одинаковыми. Не только в наших, но и в других опытах, соки с высоким содержанием антоцианов показывали наибольшую стабильность пигмента [22, с. 340].

Вызываемое «мгновенным» подогревом усиление интенсивности цвета (из табл. 1 видно, что содержание собственно антоцианов в этом варианте обработки выше, чем в других вариантах) является, вероятно,

следствием гидролиза самых нестойких гликозидов. Один из продуктов их гидролизом — агликоны. Они более яркого цвета и больше склоны к превращениям по сравнению с гликозидами антоцианов. Но если хранение соков осуществляется в охлаждаемых условиях, скорость окислительных превращений антоцианов становится замедленной и исходный цвет сока в этом варианте сохраняется лучше, чем во всех других испытанных вариантах.

В таблицах 4 и 5 представлены данные о количествах деградировавших антоцианов, появившихся окрашенных продуктов их окисления и выпавшего осадка в образцах гранатового сока из предыдущих опытов. Если ориентируясь на данные этих таблиц, поставить образцы соков, в том числе повторяющих друг друга по методу обработки в один ряд, начинающийся с образца с самым низким содержанием деградировавших антоцианов и заканчивающийся образцом, с самым высоким содержанием деградировавших антоцианов, то станет ясно, что в 9 образцах сока (из 16-ти) с повышением количества деградировавших антоцианов повышается также содержание появившихся окрашенных продуктов их деградации.

**Таблица 4.**

**Количества деградировавших антоцианов, появившихся окрашенных продуктов их деградации и выпавшего осадка в пастеризованных гранатовых соках после хранения их 6 месяцев при температуре +18...+22 °С, в мг/л (сорт Гюлейша красная)**

Показатели	Номера испытанных вариантов технологии					
	1	2	3	4	5	6
Деградировавшие антоцианы	252,7	219,3	195,3	248,7	241,2	248,0
Появившиеся продукты деградации антоцианов	122,6	32,9	4,9	35,6	15,5	30,1
Осадок	820	910	970	1010	1190	1460
Суммарное количество появившихся продуктов деградации антоцианов и выпавшего осадка	204,6	123,9	101,9	136,6	134,5	176,1

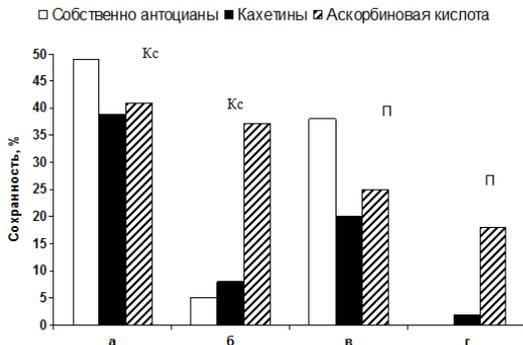
**Таблица 5.**

**Количества деградировавших антоцианов, появившихся окрашенных продуктов их деградации и выпавшего осадка в пастеризованных гранатовых соках после хранения их 6 месяцев при температуре 0...+3<sup>0</sup> С, в мг/ л (сорт Гюлейша розовая)**

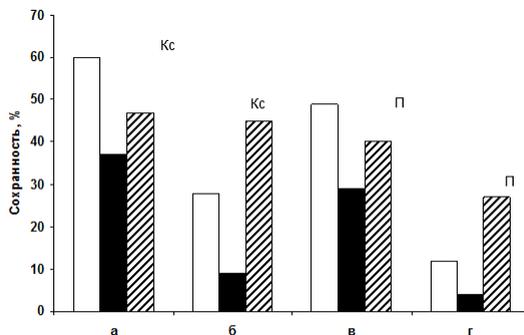
Показатели	Номера испытанных вариантов технологии				
	1	2	3	4	5
Деградировавшие антоцианы	146,7	150,0	164,0	144,0	165,3
Появившиеся продукты деградации антоцианов	8,6	3,2	11,7	7,3	5,4
Осадок	1000	1740	1510	870	1460
Суммарное количество появившихся продуктов деградации антоцианов и выпавшего осадка	108,6	177,2	162,7	94,3	151,4
Деградировавшие антоцианы	183,3	176,0	156,0	175,0	157,3
Появившиеся продукты деградации антоцианов	23,6	29,7	63,9	31,6	32,2
Осадок	130	112	120	127	176
Суммарное количество появившихся продуктов деградации антоцианов и выпавшего осадка	153,6	141,7	183,9	158,6	205,2

В 8 образцах, с повышением количества деградировавших антоцианов повышается и количество выпавшего осадка. В 10 образцах, наряду с повышением количества деградировавших антоцианов повышается также суммарное количество появившихся окрашенных продуктов их деградации и выпавшего осадка. Это значит, что мы не смогли в данном случае выявить прямую зависимость между вышеуказанными показателями в рамках вероятности, удовлетворяющей достоверности  $P < 0,05$ . Но это вовсе не значит, что такая связь не могла бы быть установлена в условиях других опытов, с большим количеством испытуемых образцов.

Как видно из рисунка 1, в консервированных сорбиновой кислотой соках собственно антоцианы сохраняются лучше, чем в пастеризованных соках.



1



2

**Рисунок 1. Сохранность собственно антоцианов, катехинов и аскорбиновой кислоты в консервированном сорбиновой кислотой (Кс) и пастеризованном (П) осветленных натуральных гранатовых соках (сорт Гюлейша розовая), хранившихся 6 (а,в) и 12 (б,г) месяцев при температуре +18...+220С (1) и 0...+30С (2)**

Однако после 6 и, особенно, 12 месяцев хранения биологическая ценность консервированных сорбиновой кислотой соков заметно ослабевает. Еще в большей мере это характерно для пастеризованных соков, в которых после 12 месяцев хранения антоцианы и катехины уже не обнаруживаются аналитически.

При хранении соков неравнозначность действия температур +18...+22 °С и 0...+3°С больше сказывается на собственно антоцианах и катехинах по сравнению с аскорбиновой кислотой.

Временная стабилизация цвета достигается за счет «мгновенного» подогрева свежеежатого сока до температуры 75°С и столь же быстрого

охлаждения до температуры 35—40<sup>0</sup>С, когда ферменты инактивированы, а термическая деградация антоцианов почти не происходит. Однако после фильтрации, пастеризации и при хранении качество гранатового сока постоянно снижается в связи с неустанным повышением количества продуктов деградации антоцианов, определяемых путем обесцвечивания испытуемого раствора слабой перекисью водорода.

### Список литературы:

1. Белая Н.И. Антирадикальная активность фруктовых соков в реакции с дифенилпикрилгидразином/ Н.И. Белая, А.Н. Николаевский, Т.Н. Ивлева// Химико-фармацевтический журнал, — 2009. — т. 43. — № 6. — с. 32—34.
2. Вигоров Л.И. Определение различных форм катехинов в плодах и ягодах //Тр. II-го Всесоюз. семинара по биологич. активн. в-вам плодов и ягод. Свердловск, 1964. — с. 451—460.
3. Гафизов Г.К. Статистическое описание стабильности гранатового сока / Г.К. Гафизов, Д.Ш. Мамедов, Г.Ш. Абубекиров // Аграрная наука Азербайджана. Баку, — 2011. — № 2. — с. 61—63.
4. Гафизов Г.К., Сёмочкина Л.Г., Гахраманов М.С. Способ повышения стабильности природной окраски пастеризованного натурального гранатового сока. // Патент СССР №1535517. 1990. Бюл. № 2.
5. ГОСТ 26313-84. Продукты переработки плодов и овощей. Правила приемки, методы отбора проб. введ. 01.07.1985. М:Стандартинформ, 2010. — 4 с.
6. ГОСТ 26671-85. Продукты переработки плодов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Подготовка проб для лабораторных анализов. введ. 01.08.86. М: Стандартинформ, 2010. — 2 с.
7. ГОСТ 28562-90. Продукты переработки плодов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. Введ. 01.07.91. М: Стандартинформ, 2010. — 11 с.
8. ГОСТ 24556-89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. введ. 01.01.90. М: Изд-во стандартов, 2003. —10 с.
9. ГОСТ 25555.0-82. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения титруемой кислотности. введ. 01.01.83. М: Стадартинформ, 2010. — 9 с.
10. ГОСТ 8756.13-87. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров. введ. 01.01.89. М: Стандартинформ, 2010. — 9 с.
11. Давидек И. Определение флавоноидных веществ после разделения методом хроматографии на бумаге // Биохимия, — 1961. — т. 26, — вып. 1. — с. 93—99.
12. Кривенцов В.И. Антоцианы плодов граната / В.И. Кривенцов, Н.К. Аренд //Тр. ГНБС Ялта, — 1981. — т. 33. — с. 110—116.

13. Мамедов Д.Ш. Полифенольный комплекс плодов граната / Д.Ш. Мамедов, Г.К. Гафизов // Аграрная наука Азербайджана. Баку, — 2009. — № 1—2. — с. 69—70.
14. Мамедов Д.Ш. Влияние pH на стабильность флавоноидов гранатового сока / Д.Ш. Мамедов, Г.К. Гафизов // Аграрная наука Азербайджана. Баку, — 2009. — № 3—4. — с. 137—138.
15. Мамедов Д.Ш. Влияние температуры обработки на стабильность флавоноидов гранатового сока / Д.Ш. Мамедов, Г.К. Гафизов // Аграрная наука Азербайджана. Баку, — 2009. — № 3—4, — с. 137—138.
16. Марх А.Т. Полифенолы гранатов /А.Т. Марх, Т.А. Лысогор // Известия взов СССР. Пищевая технология. — 1973. — № 2. — с. 36—38.
17. Скорикова Ю.Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах /Ю.Г. Скорикова, Э.А. Шафтан// Труды III-го Всесоюз. Семинара по биолог. активн. в-вам плодов и ягод. Свердловск, 1968. — с. 451—460.
18. Танчев С.С. Антоцианы в плодах и овощах. М.: Пищ. пром-сть, 1981. — с. 304.
19. Basu A. Pomegranate juice: a heart-healthy fruit juice. / A. Basu, K. Penuqonda //Nutr. Rev.— 2009. — vol. 67. issue 1. — p. 49—56.
20. Fisher U.A. Kammerer thermal stability of anthocyanins and colourless phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L) juices and model solutions /U.A. Fisher, R. Carle and R. Dietmar // Food Chemistry. — 2013. — vol. 138. — issues 2—3. — p. 1800—1809.
21. Malik A. Pomegranate fruit juice for chemoprevention and chemotherapy of prostate cancer. / Malik A., Afaq F., Sarfara S. [et al.] // Proc Natl Acad Sci USA, — 2005. — vol. 102. issue 41. — p. 108—113.
22. Miguel G. The contraction of anthocyanins in fruits of «Assaria» himegranate a sweet Portuguese cultivar typically grown in Algarve (south Portugal), was monitored during storage under different conditions / G. Miguel, C. Fontes, Antunes D. [et. Al.] // Biomed Biotechnol. — 2004. — № 5. — p. 338—342.
23. Kaman M. Effects of processing method and storage temperature on clear pomegranate juice turbidity and color hatices / M. Kaman, N. Tetik and I. Turan // Food Processing and Preservation. — 2013. — vol. 37. — issue 5. — p. 899—906.
24. Zarfeshany A. Potent health effects of pomegranate /A. Zarfeshany, S. Asqary and S.H. Javanmard // Adv Biomed Res., 2014.-3:100. [Electronic resource] — URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4007340/> (date of treatment 2014.03.25).
25. Patel C. Safety assessment of pomegranate fruit extract: acute and subchronic toxicity studies / Patel C., Asqary S., Javanmard S.H. [et al.] // Food Chem Toxicol. — 2008. — vol. 46. — issue 8. — p. 2728—2735.
26. Swain T. The phenolic constituents of *Prunus Domestica* L. The quantitative analysis of phenolic constituents/ T. Swain, W. Hillis// J. Sci. Food Agric. — 1959. — vol. 10. — № 1. — p. 63—68.

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ГРЕЧНЕВОЙ МУЧКИ**

***Никифорова Тамара Алексеевна***

*д-р техн. наук, профессор  
Оренбургского государственного университета,  
РФ, г. Оренбург*

***Хон Ирина Александровна***

*аспирант Оренбургского государственного университета,  
РФ, г. Оренбург  
E-mail: [rapdochka@mail.ru](mailto:rapdochka@mail.ru)*

## **PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY INDICES OF BUCKWHEAT HUSKING BRAN**

***Nikiforova Tamara***

*doctor of Technical Sciences, professor of Orenburg State University,  
Russia, Orenburg*

***Khon Irina***

*postgraduate student of Orenburg State University,  
Russia, Orenburg*

### **АННОТАЦИЯ**

Приведены результаты исследования химического состава гречневой муки, полученной с различных систем технологического процесса. Обозначены возможные пути рационального использования вторичного сырья, основанные на результатах анализа химического состава.

### **ABSTRACT**

The results of the study of the chemical composition of buckwheat husking bran obtained from the different systems of the technological process are presented. The possible ways of the rational use of secondary raw materials, based on the results of the chemical composition analysis, were indentified.

**Ключевые слова:** вторичное сырье; биологически активные вещества; липидный комплекс.

**Keywords:** secondary raw materials; biologically active substances; lipid complex.

Образ жизни и питания является важнейшими факторами, обеспечивающими здоровье человека. В последние годы снизилось поступление в организм человека физиологически необходимых активных веществ. Всё это требует изменений в структуре питания. Необходимым стало появление новых продуктов питания, отвечающих современным реалиям. Производство современных продуктов питания требует использования сырья с высоким содержанием белков, витаминов, минеральных веществ. Таким перспективным сырьем могут стать отходы зерноперерабатывающей промышленности, образующиеся при переработке зерна в крупу. Данный вид сырья содержит широкий спектр природных биологически активных компонентов, которые при внесении в продукты питания, окажут благотворное физиологическое воздействие на организм человека в целом.

Наиболее актуальными для исследования являются продукты переработки зерна гречихи: лузга и мучка. Доля лузги при переработки зерна в крупу составляет 19,3—20,8 %, мучки — 3,5—6,0 % [1, с. 50].

Для создания базы, на основе которой будут разработаны методы безотходных технологий в крупяной промышленности, необходимо получить полные и достоверные сведения о химическом составе и биохимических свойствах вторичного сырья.

Технология получения продуктов из гречихи высокого качества заключается в разделении зерна на фракции, в процессе переработки. Для этого на Сорочинском комбинате хлебопродуктов (Оренбургская область) зерно калибруют на ситах с отверстиями диаметром 4,5; 4,2; 4,0; 3,8; 3,6; 3,3 мм [2, с. 50]. Процесс шелушения и сортировки каждой фракции производится раздельно. Вторичное сырье, получаемое из разных систем шелушения и сепарации, может, вероятно, отличаться по своему химическому составу. Для определения этого и с целью повышения эффективности использования гречневой мучки был исследован химический состав отдельных ее фракций, полученных из разных систем шелушения и сепарации. Результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1.****Химический состав гречневой мучки**

Система шелушения	Массовая доля, %				
	Белок	Липиды	Крахмал	Клетчатка	Зола
1	29,8	7,8	30,5	11,5	8,2
2	30,5	8,1	30,4	12,8	7,9
3	29,7	8,7	30,2	12,8	8,3
4	27,9	7,9	30,9	12,9	8,3
5	27,6	6,8	30,8	14,1	8,9
6	26,8	7,9	29,7	15,9	8,4
зерно	12,8	2,2	64,1	7,5	1,4

На основе данных, отраженных в таблице 1, можно сделать некоторые промежуточные выводы. В частности, гречневая мучка, полученная с первой системы, отличается высоким содержанием белка и по отношению к зерну гречихи превышает его содержание в два раза. Возможно, в процессе шелушения, в мучку попадает значительное количество зародыша, который богат белковыми веществами, что обуславливает высокое содержание белка в мучке. По этой же причине в мучке наблюдается высокое содержание липидов. Другая отличительная особенность заключается в высоком содержании клетчатки, которую мы наблюдаем у мучки, полученной с последних систем шелушения. В процессе шелушения, вероятно, в мучку попадает значительное количество плодовых оболочек, что обуславливает высокое содержание клетчатки.

В ходе проведенных исследований изучен минеральный состав гречневой мучки, взятой с различных систем шелушения. Данные внесены в таблицу 2.

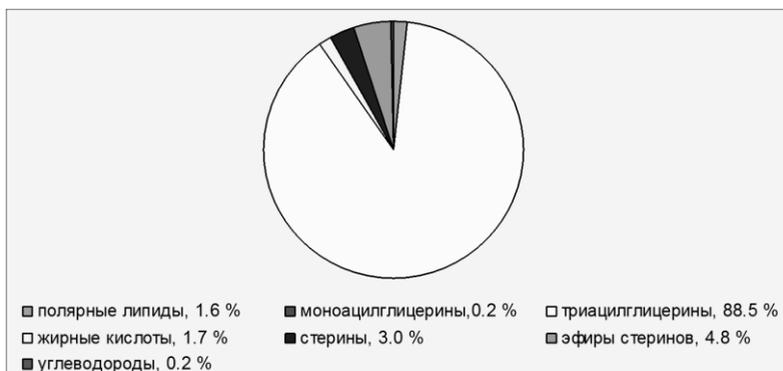
**Таблица 2.****Минеральный состав гречневой мучки, мг/кг**

Система шелушения	Минеральные элементы							
	К	Са	Р	Zn	Cu	Mn	Fe	Co
1	11080	3200	6850	52	9,6	35,8	84,0	0,10
2	11210	3150	6800	51	9,5	30,1	85,0	0,11
3	10150	3250	6900	53	10,0	34,6	75,0	0,09
4	10950	3050	6750	53	9,8	31,1	72,5	0,10
5	10050	3210	6500	54	10,3	35,6	78,8	0,15
6	10400	3180	6560	52	9,9	34,9	80,1	0,18
зерно	4300	490	3050	51	10,1	33,1	62,1	0,13

По данным указанным в таблице 2 можно сделать вывод о том, что гречневая мучка имеет более высокое содержание железа, калия, кальция, фосфора, чем цельное зерно. В процессе шелушения, вероятно, в мучку попадает зародыш зерна гречихи, который характеризуется максимальным содержанием минеральных веществ.

Основываясь на данных о высоком содержании липидов в гречневой мучке, были изучены основные характеристики липидного комплекса: кислотное число, групповой и жирнокислотный составы [2, с. 50]. Кислотное число липидов свежесыгранной гречневой мучки 6—7 мг КОН.

Для более подробной и всесторонней характеристики липидного комплекса был изучен групповой состав липидов гречневой мучки, взятой с контрольного рассева. Полученные данные изображены на рисунке 1.



**Рисунок 1. Групповой состав липидов гречневой мучки**

Как показано на рисунке 1, основной фракцией липидов гречневой мучки являются триацилглицерины.

Изучение жирнокислотного состава липидов гречневой мучки, показало наличие биологически ценных кислот: мононенасыщенной — олеиновой и, особенно, незаменимых, полиненасыщенных — линолевой и линоленовой.

Сумма ненасыщенных жирных кислот составляет в среднем от 73,95 % до 79,90 %, соответственно. Данные приведены в таблице 3.

Таблица 3.

## Жиринокислотный состав липидов гречневой муки по фракциям

Жирная кислота	Содержание, % от суммы						Контроль- ный рассев
	I	II	III	IV	V	VI	
C 12:0	0,75	0,8	0,78	0,10	0,9	0,11	0,10
C 14:0	0,67	0,7	0,68	0,70	0,71	0,70	0,72
C 14:1	0,01	0,01	0,02	0,02	0,019	0,025	0,02
C 15:0	0,12	0,11	0,13	0,11	0,10	0,12	0,14
C 15:1	0,02	0,012	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03
C 16:0	18,97	17,25	19,87	20,1	20,2	19,2	20,24
C 16:1	0,18	0,16	0,19	0,18	0,19	0,20	0,20
C 16:1(9-цис)	0,78	0,69	0,78	0,81	0,80	0,78	0,82
C 17:0	0,08	0,05	0,04	0,075	0,08	0,09	0,09
C 17:1	0,04	0,03	0,03	0,04	0,035	0,04	0,05
C 18:0	2,01	1,87	1,98	2,02	2,0	1,99	2,03
C 18:1(9-цис)	27,89	26,9	28,9	30,1	29,99	30,17	31,37
C 18:1(11-транс)	1,7	1,6	1,50	1,46	1,36	1,58	1,69
C 18:2	31,99	30,2	29,99	30,1	32,01	33,2	34,17
C 18:3(ω-3)	1,99	0,87	0,99	1,99	2,0	2,1	2,09
C 20:0	1,15	1,2	1,3	1,1	1,0	0,99	1,27
C 20:1	1,99	1,8	1,7	1,7	1,99	2,30	2,56
C 22:0	1,29	1,25	1,36	0,99	1,40	1,45	1,46
C 22:1	0,8	0,5	0,7	0,6	0,9	0,8	0,95
Сумма насыщенных кислот	21,1	24,30	24,90	25,13	25,36	26,06	26,05
Сумма ненасыщенных кислот	79,9	75,7	75,10	74,87	74,64	73,94	73,95

Результаты исследований показывают, что гречневая мука уникальна по содержанию белка, липидов, клетчатки, минеральных веществ. По результатам полученных данных об их количественном содержании, на базе кафедры технологии пищевых производств Оренбургского государственного университета идет разработка рекомендаций по применению гречневой муки в кондитерской и хлебопекарной промышленности. В частности, представляется весьма полезным и эффективным использовать гречневую муку в производстве сахарного печенья.

### **Список литературы:**

1. Никифорова Т.А., Хон И.А., Байков В.Г. Рациональное использование вторичного сырья крупяного производства // Хлебопродукты. — 2014. — № 6. — С. 50—51.
2. Никифорова Т.А., Хон И.А. Комплексное использование вторичного сырья крупяных производств // Хлебопродукты. — 2014. — № 5. — С. 50—51.

## СЕКЦИЯ 7.

### ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, РАДИОТЕХНИКА

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАДИОГОЛОГРАФИИ В ЗАДАЧАХ СОВРЕМЕННОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

**Фомичёв Николай Иванович**

*старший преподаватель, ФГБОУ ВПО  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,  
РФ, г. Ярославль  
E-mail: [fomichev@uniyar.ac.ru](mailto:fomichev@uniyar.ac.ru)*

**Артёмов Константин Серафимович**

*доцент, канд. физ.-мат. наук, ФГБОУ ВПО  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,  
РФ, г. Ярославль  
E-mail: [kartemov@uniyar.ac.ru](mailto:kartemov@uniyar.ac.ru)*

**Артёмова Татьяна Константиновна**

*доцент, канд. физ.-мат. наук, ФГБОУ ВПО  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,  
РФ, г. Ярославль  
E-mail: [tatyanayaroslavskaya@yandex.ru](mailto:tatyanayaroslavskaya@yandex.ru)*

# EXPERIMENTAL STUDY OF MICROWAVE IMAGING FOR MODERN RADAR PROBLEMS

*Nikolay Fomichev*

*lecturer, Yaroslavl state university,  
Russia, Yaroslavl*

*Konstantin Artemov*

*candidate of Physics and mathematics,  
associate professor, Yaroslavl state university,  
Russia, Yaroslavl*

*Tatiana Artemova*

*candidate of Physics and mathematics,  
associate professor, Yaroslavl state university,  
Russia, Yaroslavl*

## АННОТАЦИЯ

На примере результатов экспериментальных исследований по получению изображений различных объектов анализируются возможности применения радиоголографии к задачам радиолокации. Рассмотрены возможности метода по получению информации о цели, в том числе приводятся экспериментальные изображения объектов, находящихся за оптически непрозрачными препятствиями.

## ABSTRACT

Experimental study of microwave imaging capabilities to obtain information about radar targets was performed. An applicability of the method for different objects, including the objects hidden behind opaque obstacles, is examined.

**Ключевые слова:** радиоголография; радиолокация; анализ; эксперимент; возможности; изображения; препятствия.

**Keywords:** microwave imaging; radar; analysis; experiment; capabilities; images; obstacles.

Для современной радиолокации особую актуальность приобретает задача радиовидения, т. е. получения визуальных изображений пространства в форме, близкой к привычным зрительным образам. Одним из методов, позволяющих это обеспечить, является радиоголография [6] — регистрация рассеянного радиосценой электро-

магнитного поля при помощи когерентного опорного с перестройкой частоты по определённом закону.

Традиционно радиоголография используется для получения и визуального анализа изображений. Так работают, например, американские системы персонального досмотра для аэропортов ([8] и аналогичные). Однако наглядность представления результата — не единственное достоинство метода. В [5] утверждается, например, что использование радиоголографии в радиолокационных системах (РЛС) позволяет существенно упростить аппаратуру и снизить требования к внутренним коммуникациям РЛС с пространственно-распределёнными антенными элементами.

Целью работы является демонстрация некоторых возможностей метода радиоголографии в решении задач радиолокации на основе проведённых авторами экспериментов.

Для исследований использовалась система голографического радиовидения (СРВ) ближнего действия, разработанная на кафедре радиофизики ЯрГУ им. П.Г. Демидова совместно с ЗАО «Новые технологии» (г. Москва). Система реализует метод многокурсовой многочастотной радиоголографии в диапазоне от 35,2 до 36,0 ГГц, перестраивая во времени по линейно-ступенчатому закону частоту гармонического сигнала с минимальным шагом ступени 4 МГц. Антенная система позволяет сканировать диэлектрическими стержневыми антеннами эквидистантные точки пространства вдоль Т-образно скрещенных направляющих (излучающими антеннами — вдоль вертикальной, приёмными — вдоль горизонтальной), формируя область регистрации 0,535 м × 0,619 м. Передатчик мощностью 10 мВт обеспечивает радиовидение близрасположенных объектов (на расстояниях единиц и десятков метров в зависимости от их отражательной способности, местоположения и среды между СРВ и объектом). Приём осуществляется когерентно.

Часть синтезированного передатчиком сигнала излучается в сторону объекта, другая часть по закрытому тракту поступает в опорный канал квадратурного приёмника. Рассеянное сценой (и объектом) поле сканируется приёмными элементами антенной системы и поступает на объектный вход приёмника. Оцифрованные при помощи аналого-цифровых преобразователей вещественная и мнимая части комплексной радиоголограммы (результат интерференции опорного и объектного сигналов) записываются и обрабатываются программным обеспечением ЭВМ. Супергетеродинный приём позволил рассматривать каждую точку радиоголограммы как комплексное, но постоянное для неподвижного объекта число, и таким образом, проводить

накопление информации в каждой точке голограммы, определять статистические характеристики сигнала и применять методы цифровой обработки к этим данным, в том числе проводить усреднение, позволяющее улучшить соотношение сигнал/шум на выходе системы. В результате формируется трёхмерная матрица радиоголограммы – набор одночастотных двумерных массивов, представляющих собой многоакурсные голограммы.

По этим данным метод радиоголографии позволяет получать различную информацию.

Во-первых, можно представлять информативными сечениями трёхмерные изображения радиолокационной сцены, например,

- сечениями в картинной плоскости, взятыми на различных дальностях, т. е. проводить селекцию по дальности, одновременно визуально контролируя сцену;
- двумя ортогональными сечениями по дальности вдоль фиксированного направления (для выявления интересующих объектов сразу во всём объёме поиска; причём, два сечения определяются значительно быстрее, чем полная трёхмерная картина).

Возможность оценить ослабление восстановленного поля относительно мощности передатчика, т. е. проводить сравнение и делать заключения о наличии или отсутствии объектов в данной области пространства дают алгоритмы калибровки системы. Изображения приводятся в градациях серого (белый соответствует максимуму) или в радужном представлении (красный соответствует максимуму, фиолетовый — минимуму).

Первую возможность демонстрируют результаты следующего проведённого нами эксперимента. Для различных значений дальности формировались изображения сцены, приведённой на рис. 1. Она включала наблюдаемый на расстоянии 2,3 м от СГРВ объект — два фольгированных цилиндра диаметрами 14 см и длиной 60 см, соединённые в фигуру, напоминающую букву «Г».



***Рисунок 1. Объект и наблюдаемая сцена***

Из приведённых на рис. 2 изображений видно, что метод позволяет однозначно локализовать объект в объёме сцены, оценить его форму и взаимное расположение составных частей, а при наличии масштабной сетки – и размеры частей.



2,1 м

2,2 м

2,3 м

2,4 м

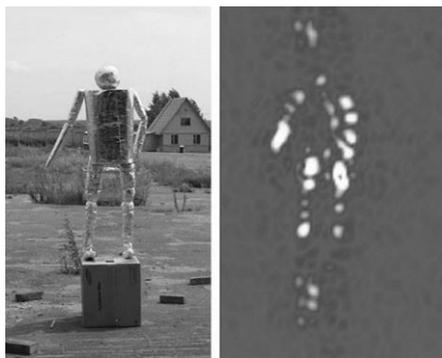
2,5 м

***Рисунок 2. Радиоголографические изображения наблюдаемой сцены на различных дальностях***

Особый практический интерес представляет бесконтактное радиовидение объекта за оптически непрозрачными препятствиями. Этому были посвящены следующие наши эксперименты.

На рис. 3 слева приведена фотография наблюдаемой сцены, содержащей размещённую на расстоянии 4 м от СГРВ на картонной

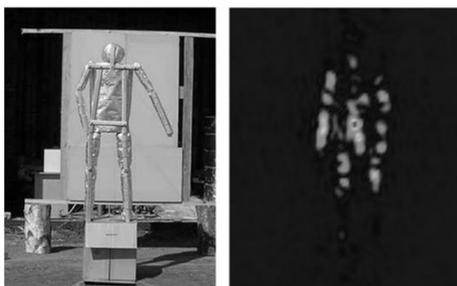
подставке фольгированную модель тела человека в натуральную величину, а справа — сечение радиологического изображения в картинной плоскости для дальности 4 м.



***Рисунок 3. Модель тела человека (слева) и её радиологическое изображение (справа)***

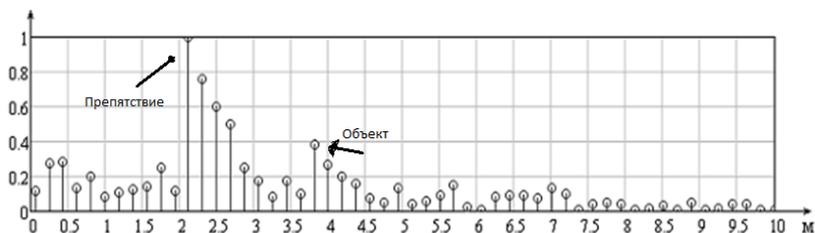
На рис. 4 приведены фотография и радиологическое изображение на дальности 4 м сцены, в которую между тем же объектом и СГРВ на расстоянии 2 м от станции было помещено оптически непрозрачное препятствие из строительного материала, вносящего затухание сигнала 10 дБ в одну сторону.

Препятствия вносят искажения в структуру объектного сигнала, но, как показывают наши эксперименты, при достаточном энергетическом потенциале установки метод радиолографии за счёт фокусировки изображения позволяет решить задачу формирования изображения, достаточного для распознавания объекта с приемлемой точностью.



***Рисунок 4. Модель тела человека за препятствием (слева) и её радиологическое изображение (справа)***

Во-вторых, даже одной точки многочастотной радиоголограммы достаточно, чтобы, не строя двумерное изображение, оценить дальности объектов. На рис. 5 приведено нормированное дискретное амплитудное изображение вдоль оси дальностей, полученное для одной точки голограммы из предыдущего эксперимента.

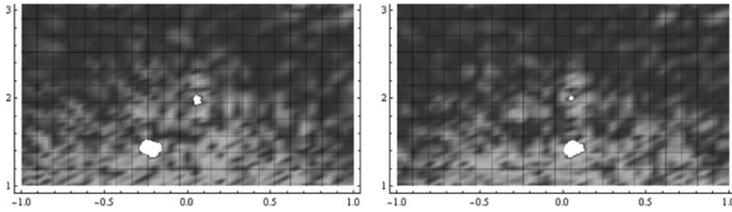


**Рисунок 5. Зависимость амплитуды зарегистрированного изображения от дальности (дальностный радиопрофиль наблюдаемой сцены)**

На нём выделяются два пика, соответствующие препятствию (и дающие оценку его местоположения в 2,1 м) и модели тела человека за ним (оценка местоположения 4 м). Таким образом, радиоголография позволяет проводить селекцию объектов по дальности и определять их координаты даже, если они находятся за оптически непрозрачными препятствиями.

В-третьих, по изменению изображения при регистрации серии кадров, а также по изменению во времени одного и того же пространственного отсчёта многочастотной радиоголограммы можно: оценить параметры движения объекта и указать, какой манёвр он совершает.

На рис. 6 приведены радиоголографические изображения азимутально-дальностных сечений сцены для начального и конечного положения движения перестраивающейся группировки объектов из двух металлизированных шаров, полученные на 200 частотах в  $64 \times 64$  точках с шагом 4 мм. Большой шар (диаметром 0,17 м), перемещался горизонтально в картинной плоскости из позиции с координатами (-0,25 м; -0,33 м; 1,4 м) в позицию с координатами (0,05 м; -0,33 м; 1,4 м); меньший шар (диаметром 0,09 м), оставался неподвижным в позиции с координатами (0,05 м; -0,365 м; 2 м).



**Рисунок 6. Азимутально-дальностные изображения начального и конечного положения двух шаров при движении**

По рис. 6 можно сделать заключение, что наблюдаются два отдельных объекта, определить их начальные и конечные координаты, а также утверждать, что один из них (меньший размерами) за время наблюдения оставался неподвижным, а другой (большой) перемещался горизонтально, и величина перемещения составила около 0,3 м (и соответственно оценить скорость движения).

При оценивании координат и перемещений по изображению точность определяется разрешающей способностью СГРВ (подобные наши эксперименты см., например, в [1]). По дальности она тем лучше, чем больше ширина спектра сигнала (при 800 МГц наша установка обеспечивает 19 см); в картинной плоскости — тем лучше, чем больше синтезируемая апертура — 6,3 см×5,5 см на дальности 4 м для полной апертуры нашей СГРВ. Поэтому радиолографические методы будут особенно эффективны при использовании широкой полосы частот и размещении РЛС на подвижных носителях. Потенциально разрешающая способность системы при высоких соотношениях сигнал-шум может достигать значения длины волны используемого сигнала [7] или даже меньше (при дополнительной обработке радиолограммы эталонными методами [4]), что является очень привлекательным.

В-четвёртых, метод радиолографии позволяет фиксировать элементы радиоизображения в комплексном виде (амплитуда и фаза), что открывает дополнительные возможности за счёт использования фазовой структуры изображений объектов. При формировании радиолограммы на различных поляризациях можно получить ещё больше информации о цели.

В-пятых, метод позволяет проводить классификацию объектов эталонными методами без построения изображений, по амплитуде [4] голограммы, её фазе или комплексным значениям [2].

Таким образом, применение методов радиолографии позволяет определить множество характеристик наблюдаемых объектов и тем

самым [3] повысить информационные возможности радиолокационных комплексов и улучшить их системные показатели.

### Список литературы:

1. Артёмов Т.К., Артёмов К.С., Кренёв А.Н., Фомичёв Н.И., Леонтьев А.С., Кузнецов Е.А., Шеметов А.С. Анализ возможностей системы голографического радиовидения миллиметрового диапазона в задачах дистанционного зондирования // Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред: Доклады IV Всероссийской конференции, 30 июня—3 июля 2009 г, Муром. — С. 141—146.
2. Артёмов Т.К., Гвоздарёв А.С. Минимально-фазовый метод эталонной оценки размеров объектов в задачах радиоголографии // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. — 2011. — Т. 54, — № 4. — С. 22—30.
3. Верба В.С. Управление информационными возможностями многофункциональных бортовых радиолокационных комплексов // Радиотехника. — 2007. — № 10. — С. 9—12.
4. Матюхин Н.И. Синфазное суммирование пространственных и временных гармоник в многочастотной и многопозиционной пространственно-когерентной (радиоголографической) системе для получения трехмерного изображения объекта с разрешением порядка длины волны // Вісн. Харк. нац. ун-ту. Радіофізика та електроніка. — 2011. — № 966. — С. 68—71.
5. Пат. 2498339 Российская Федерация, МПК6 G01S13/00. Способ активной радиолокации / Гончаров О.П., Понькин В.А.; заявитель и патенто-обладатель Гончаров О.П. (RU). — № 2012107869/07; заявл. 01.03.2012; опубл. 10.11.2013. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.freepatent.ru/images/patents/495/2498339/patent-2498339.pdf> (дата обращения 23.02.2015).
6. Сафронов Г.С., Сафронова А.П. Введение в радиоголографию. М.: Сов. радио, 1973. — 287 с.
7. Bennett C., Toomey J. Target classification with multiple frequency illumination // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. — 1981. — Vol. 29. — № 2. — Pp. 352—358.
8. Patent US 5859609 A, Int. Cl6 G 01 S 13/89, G 03 H 5/00. Real-time wideband cylindrical holographic surveillance system / Sheen David M., McMakin Douglas L., Hall Thomas E., Severtsen Ronald H.; assignee: Battelle Memorial Institute, Richland, Wash. — № 714026; filed 11.09.1996; date of patent 12.01.1999. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [www.google.ru/patents/US5859609](http://www.google.ru/patents/US5859609) (дата обращения 23.02.2015).

**Научное издание**

**«ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ –  
ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ»**

Сборник статей по материалам  
XLIII международной научно-практической конференции

№ 2 (39)  
Февраль 2015 г.

Подписано в печать 03.03.15. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 5,5. Тираж 550 экз.

Издательство «СибАК»  
630099, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 16, офис 807  
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3