



ISSN 2713-220X

# НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

2020 № 3 (Том 1)

**SCIENTIFIC RESEARCHES:  
RESULTS AND PROSPECTS**

**2020 № 3 (Том 1)**

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ТЕХНОЛОГИИ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ И  
ПЕРЕРАБОТКИ**

*Ахмадова Х.Х., Махмудова Л.Ш., Хадисова Ж.Т., Абдулмежидова З.А.* Модифицирование битумных вяжущих резиновой крошкой: экспериментальные исследования

3

*Аль-Фадхли Кхазаал Хамид Кхазаал, Балобаева Н.Н., Деятярев А.А.* Кинетика процесса коалесценции капель воды в эмульсии «нефть-вода»

16

**РАДИОТЕХНИКА,  
МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА**

*Асланов Т.Г., Мусаилов Р.Р.* Ошибка в определении координат объекта при помощи навигационных систем

21

*Попова А.А., Шубин И.Н., Гусейнов М.К.* Исследование дисперсного состава порошков углеродных наноматериалов

28

**МАШИНОСТРОЕНИЕ И  
МАШИНОВЕДЕНИЕ**

*Чан Динь Ван, Вартанов М.В.* Моделирование процесса роботизированной сборки профильных соединений

32

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

*Устарханов Т.О., Ирзаев Г.Г., Вишталов Р.И.* Усиление напряженных зон дощатоклейной балки армированием углеродной тканью

38

*Аллаев М.О.* Определение расстояния между разведочными точками с учетом изменчивости мощностей слоев

45

*Алибеков А.К., Алиев Р.М., Мухучев А.М., Эмирбеков Э.Т.* Автоматизированное проектирование низконапорных консольных водосбросов

53

**ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ  
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

*Шабанова П.В., Еремеева Н.Б.* Исследование физико-химических и органолептических свойств виноградных соусов

64

Правила оформления и представления статей

68

Учредитель и издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный технический университет»

**Редакционная коллегия:**

Н.С. Суракатов, к.э.н., доцент, главный редактор (Махачкала)  
Г.Х. Ирзаев, к.т.н., доцент, зам. главного редактора (Махачкала)  
А.Д. Абакаров, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Г.М. Абакаров, д.х.н., доцент (Махачкала)  
Э.К. Агаханов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
А.П. Адамов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Р.М. Алиев, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Х.Х. Ахмадова, д.т.н., профессор (Грозный)  
М.Э. Ахмедов, д.т.н., доцент (Махачкала)  
М.У. Ахмедпашаев, д.т.н., доцент (Махачкала)  
Р.В. Гусейнов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Т.А. Исмаилов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
М.Ю. Карелина, д.т.н., профессор (Москва)  
Д.А. Магомедов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
К.П. Манжула, д.т.н., профессор (С-Петербург)  
А.Н. Остриков, д.т.н., профессор (Воронеж)  
Г.К. Сафаралиев, д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. РАН (Москва)  
А.Р. Тагилаев, д.т.н., профессор (Махачкала)  
С.У. Увайсов, д.т.н., профессор (Москва)  
О.М. Устарханов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Н.К. Юрков, д.т.н., профессор (Пенза)

При перепечатке ссылка на журнал «Научные исследования: итоги и перспективы» обязательна.

Все поступившие в редакцию материалы подлежат рецензированию.

Мнения авторов могут не совпадать с точкой зрения редакции.

Редакция в своей деятельности руководствуется рекомендациями Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics).

Условия публикации статей размещены на сайте: <http://dstu.ru>.

Журнал включен в базы данных eLIBRARY и индексируется в национальной информационно-аналитической системе – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Адрес редакции: 367026, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70  
Телефон: +7 (8722) 62 37 15

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

**ISSN 2713-220X**

**2020 № 3 (Vol.1)**

**CONTENTS**

**OIL AND GAS PRODUCTION AND  
REFINING TECHNOLOGIES**

*Akhmadova Kh.Kh., Makhmudova L.Sh., Khadisova Zh.T., Abdulmezhidova Z.A.* Modification of bituminous binders with crumb rubber: experimental studies

3

*Al-Fadhli Khazaa Hamid Khazaa, Balobaeva N.N., Degtyarev A.A.* Kinetics of the coalescence of water droplets in an oil-water emulsion

16

**RADIO ENGINEERING,  
MICRO- AND NANOELECTRONICS**

*Aslanov T.G., Musaiyev R.R.* An error in determining the coordinates of an object using navigation systems

21

*Popova A.A., Shubin I.N., Guseinov M.K.* Study of the Disperse Composition of Carbon Nanomaterial Powders

28

**MECHANICAL ENGINEERING**

*Chang Din Wang, Vartanov M.V.* Simulation of the robotic assembly of shaped joints

32

**BUILDING CONSTRUCTION AND  
ARCHITECTURE**

*Ustarkhanov T.O., Irzaev G.G., Vishtalov R.I.* Reinforcement of the stressed zones of a glued board beam with carbon cloth reinforcement

38

*Allaev M.O.* Determination of the distance between exploration points, taking into account the variability of layer thicknesses

45

*Alibekov A.K., Aliev R.M., Mukhuchev A.M., Emirbekov E.T.* Computer aided design of low-pressure cantilever spillways

53

**TECHNOLOGIES, PROCESSES AND  
DEVICES OF FOOD PRODUCTION**

*Shabanova P.V., Ereemeeva N.B.* Investigation of the physical, chemical and organoleptic properties of grape sauces

64

Rules for writing and submitting articles

68

Founder and Publisher: federal state budgetary educational institution of higher education «Daghestan State Technical University»

**Editorial team:**

N.S. Surakatov, Ph.D., Associate Prof., Chief editor (Makhachkala)  
G.Kh. Irzaev, Ph.D., Associate Prof., Deputy Chief Editor (Makhachkala)  
A.D. Abakarov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
G.M. Abakarov, Doctor of Science, Associate Prof. (Makhachkala)  
E.K. Agakhanov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
A.P. Adamov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
R.M. Aliev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
Kh.Kh. Akhmadova, Doctor of Science, Prof. (Grozny)  
M.E. Akhmedov, Doctor of Science, Associate Prof. (Makhachkala)  
M.U. Akhmedpashaev, Doctor of Science, Associate Prof. (Makhachkala)  
R.V. Huseynov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
T.A. Ismailov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
M.Yu. Karelina, Doctor of Science, Prof. (Moscow)  
D.A. Magomedov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
K.P. Manzhula, Doctor of Science, Prof. (St. Petersburg)  
A.N. Ostrikov, Doctor of Science, Prof. (Voronezh)  
G.K. Safaraliev, Doctor of Science, Prof. (Moscow)  
A.R. Tagilayev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
O.M. Ustarkhanov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
S.U. Uvaisov, Doctor of Science, Prof. (Moscow)  
N.K. Yurkov, Doctor of Science, Prof. (Penza)

When reprinting a link to the journal «Scientific researches: results and prospects» required.  
All materials received by the editors subject to review. The opinions of the authors may not coincide with the views of the publisher.  
The editors in their activities guided by the recommendations of the Committee on Publication Ethics.  
The conditions for publishing articles are available on the website: <http://dstu.ru>.  
The journal is included in the eLIBRARY databases and indexed in the national information and analytical system - Russian Science Citation Index (RSCI).

Editorial office: 70 I. Shamily Ave., Makhachkala, Republic of Daghestan, 367026, Russia.  
Tel.: +7 (8722) 62 37 15  
E-mail: [naukajournal@mail.ru](mailto:naukajournal@mail.ru).

**ISSN 2713-220X**

# ТЕХНОЛОГИИ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ

---

---

УДК 625.7.06

doi: 10.21822/2713-220X-2020-1-3-3-15

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Х.Х. Ахмадова, Л.Ш. Махмудова, Ж.Т. Хадисова, З.А. Абдулмежидова

Грозненский государственный нефтяной технический университет  
имени академика М.Д. Миллионщикова

Грозный  
hava99502@mail.ru

**Аннотация.** В статье приведены результаты экспериментальных исследований процесса модификации битумов резиновым порошком с оптимизацией технологических параметров. Проведена серия опытов по модифицированию битумных вяжущих резиновой крошкой, полученной измельчением отработанных шин и выделением отсева резиновой крошки размером 1 мм. Выявлено влияние размеров резиновой крошки и ее содержания, температуры перемешивания и условий окисления на свойства битумных вяжущих. В качестве критерия оценки применяли температуры хрупкости и размягчения по кольцу и шару, пенетрацию и растяжимость при 25<sup>0</sup>С. Полученные результаты показали эффективное влияние резиновой крошки на улучшение этих показателей и необходимость проведения дальнейших исследований для более глубокого изучения процесса модифицирования битумных вяжущих резиновой крошкой.

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies of the process of modifying bitumen with rubber powder with optimization of technological parameters. A series of experiments was carried out to modify bitumen binders with rubber crumbs, obtained by grinding used tires and isolating the screening of rubber crumbs with a size of 1 mm. The influence of rubber crumb dimensions and its content, mixing temperature and oxidation conditions on the properties of bitumen binders was revealed. As an evaluation criterion, the brittleness and softening temperature on the ring and ball, penetration and extensibility at 25<sup>0</sup>C were used. The results showed the effective effect of the rubber crumb on the improvement of these values and the need for further studies to further study the process of modifying bitumen binders with rubber crumbs.

**Ключевые слова:** гудрон, битум, резинобитумные вяжущие, резиновая крошка, модифицирование.

**Keywords:** tar, bitumen, rubber-bitumen binders, rubber crumb, modification.

### **Цель и постановка задачи исследования**

Как видно из аналитического обзора, опубликованного в [1], в настоящее время в связи с постоянным увеличением нагрузки на асфальтобетонное покрытие автомобильных дорог является актуальным создание для них прочной и устойчивой дорожной одежды. Поэтому использование приемов, технологий и модифицирующих добавок, улучшающих качество битумных связующих и асфальтобетона, значительно повышающих качество дорожного покрытия и увеличивающих межремонтный период, является одной из первоочередных задач технологов, занимающихся битумными технологиями и проблемами производства высококачественных битумов.

Цель проведенного нами исследования – получение качественных нефтяных битумных вяжущих путем разработки лабораторной установки и технологии получения модифицированных резиновой крошкой битумов, полученных из разных гудронов Татарстана; определение оптимальных технологических параметров модифицирования гудронов и битумов разным количеством резиновой крошки; исследование влияния факторов, стадийности процесса, качества сырья и резиновой крошки на свойства резинобитумных вяжущих.

### **Экспериментальная часть**

В рамках поставленной задачи нами была проведена серия исследований процесса модифицирования окислен-

ных битумов резиновой крошкой.

В качестве основы для получения битумных вяжущих использовали окисленные битумы, полученные окислением гудронов, представленных ПАО «Татнефть» (ЕНПХ, ЕНПУ, ТАНЕКО), химический состав которых приведен в таблице 1.

Резиновая крошка разной дисперсности от 0,1 до 1,0 мм, используемая при исследовании, была получена в лабораторных условиях в измельчителе периодического действия из изношенных автомобильных шин (таблица 2).

Получение резинонаполненных битумных вяжущих осуществлялось применением двух технологий:

- смешения гудрона и резины перед проведением окисления;
- смешения окисленного битума, полученного при разных режимных показателях, с резиновой крошкой разной дисперсности.

Свойства полученных в процессе исследования резинонаполненных битумных вяжущих – температуру размягчения по кольцу и шару (КиШ), пенетрацию, растяжимость, гомогенность вяжущего – определяли по ГОСТ 33133-2014 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования».

Эти параметры характеризуют:

- температуру размягчения по кольцу и шару (КиШ) – способность вяжущего сохранять свои свойства при повышенных температурах (ГОСТ 33142);
- глубину проникновения иглы (пенетрация) при 25<sup>0</sup>С и 0<sup>0</sup>С – пластичность материала (ГОСТ 33136);
- температуру хрупкости – стойкость

к низким температурам (ГОСТ 33143);

- изменение пластичности материала после выдержки при 160°C в течение 5 ч – устойчивость материала к термоокислительной деструкции;

- однородность – гомогенность вяжущего. В рамках проведенного исследования отработывалась технология приготовления резинобитумных вяжущих, исследовалось влияние пластификаторов, в качестве которой применя-

лась добавка из измельченной полиэтиленовой пленки в количестве до 1,0% масс. После отработки технологии приготовления, модифицированного вяжущего, нами решался вопрос о рациональном содержании компонентов резинобитумного вяжущего. На основании изучения литературных источников было выбрано количество добавляемой резиновой крошки в количестве 5-20 % масс.

Таблица 1 – Химический состав гудронов, применяемых для получения окисленных битумов

Дата отбора	17.01.19					
Название пробы	ЕНПХ		ЕНПУ		ТАНЕКО	
Компоненты	Содержание, % масс.		Содержание, % масс.		Содержание, % масс.	
	ср. знач.	сумма	ср. знач.	сумма	ср. знач.	сумма
Парафино-нафтеные	14,5	14,5	24,0	24,0	12,1	12,1
Легкая ароматика	6,2	47,0	6,5	48,9	5,9	48,2
Средняя ароматика	4,4		5,9		4,3	
Тяжелая ароматика	36,5		36,6		38,0	
Нейтральные смолы	9,8	32,6	8,8	22,7	10,4	34,0
Кислые смолы	22,8		13,9		23,6	
Асфальтены	5,9	5,9	4,4	4,4	6,0	6,0
Итого	100,0		100,0		100,0	

Таблица 2 - Характеристика резиновой крошки из изношенных шин

Наименование показателей	Значение показателя
Содержание фракций, % масс.	
0,8-0,9 мм	2,0
1,0мм	98,0
Массовая доля воды, %, не более	1,0
Массовая доля черных металлов, %, не более	0,2
Массовая доля остатков кордного волокна, %, не более	1,0
Массовая доля каучука, %, не более	62,4
Массовая доля технического углерода, %	30,2
Массовая доля мягчителей, %	4,9
Массовая доля золы, %	1,3

### Экспериментальная установка

Для получения окисленных битумов и установления оптимальных технологических параметров проведения процесса модификации полученных битумов резиновым порошком была разработана, налажена и запущена опытно-лабораторная установка-смеситель, состоящая из окислительной колонны, в нижней части которой было установлено распределительное устройство для подачи воздуха, и смесителя с лопастной мешалкой. На установке наряду с осуществлением в окислительной колонне окисления гудронов имелась возможность получения в смесителе резинобитумного вяжущего перемешиванием полученного в колонне окисленного битумного вяжущего с резиновой крошкой. Привод смесителя обеспечивал вращение рабочих лопастей мешалки с высокой скоростью 800-3000 оборотов в минуту. В условиях эксперимента применяли вращение мешалки в пределах 800 -1000 об/мин. Загрузка окислительной колонны составляла до 450 г гудрона. Корпус окислительной колонны обогревался за счет электрообогрева, что позволяло изменять температурные режимы в широких пределах. Для контроля температуры реакционной смеси в рабочей камере окислительной колонны была установлена термопара, сигнал которой подавался на потенциометр КСП-4.

Загрузка смесителя составляла 150 г битумного вяжущего при расчётной загрузке камеры смешения до 200 г гудрона. Смешение гудронов или битумных вяжущих с резиновой крошкой, а также с другими добавками, проводили в температурных пределах от 180°C до 300°C. Наиболее полное растворе-

ние резиновой крошки в битумных вяжущих наблюдалось при температуре 280-300°C. При более низких температурах наблюдалось неполное растворение резиновой крошки.

Эксперименты по окислению приведенных в таблице 1 образцов гудронов на опытно-лабораторной установке проводились в интервале температур 240-280°C, времени окисления 1 час при двух различных соотношениях воздуха к сырью. Перемешивание резиновой крошки осуществляли продолжительностью в 1 час.

Было также исследовано модифицирование битумных вяжущих в диапазоне температур 240-280°C с добавлением резиновой крошки как до, так и после окисления гудрона в окислительной колонне.

На опытно-лабораторной установке было изучено влияние размера резиновой крошки (1 мм и более крупных размеров 3-5 мм), ее процентного содержания в массе окисленного битума (3-20%), температурного режима и продолжительности стадий окисления-смешения на качество полученного резинобитумного вяжущего.

Проблема растворения резиновой крошки решалась подбором температуры и режима перемешивания сырья или окисленного битума с модификатором.

Приготовление модифицированного резинового крошкой битумного вяжущего осуществляли двумя способами. По первому способу проводили окисление гудрона в течение 1-2 ч при температурах 240-280°C. Далее пробу окисленного битума (150 г) загружали в смеситель и при заданной температуре смешения (180-300°C) вводили измельченную резиновую крошку в количестве 3-20 %

при постоянном перемешивании в течение 1-2 часов.

По второму способу в смеситель подавали гудрон и смешивали с резиновой крошкой в течение заданного времени и температурах 180-300<sup>0</sup>С. Затем полученную смесь гудрона с резиновой крошкой помещали в окислительную колонну и проводили процесс окисления с получением окисленных битумных вяжущих при температурах 240-280<sup>0</sup>С.

Процесс подачи резиновой крошки осуществлялся очень осторожно, небольшими порциями, чтобы не вызвать образования комков резины в битуме. Скорость вращения вала мешалки при введении резиновой крошки составляла 800-1000 об /мин. У полученных образцов битумных вяжущих определяли следующие показатели качества: температуры размягчения и хрупкости, пенетрацию и растяжимость при 25<sup>0</sup>С.

### **Результаты и обсуждение**

В настоящем разделе приведены результаты окисления гудрона ЕНПУ при разных технологических режимах и модифицирования полученных окисленных битумных вяжущих разным количеством резиновой крошки. Гудрон ЕНПУ отличается от других исследуемых видов сырья, представленных для исследования ПАО «Татнефть», высоким содержанием парафинонафтеновых углеводородов.

В таблице 3 представлены показатели образцов битумных вяжущих, полученные при давлении 8 атм и температурах окисления гудрона ЕНПУ в интервале 240-280<sup>0</sup>С, из которых ни один образец полностью не соответствует

всем основным показателям качества марок нефтяных дорожных битумов по ГОСТ 33133-2014. (таблица 4), в основном наблюдается отклонение от нормы ГОСТа по температуре хрупкости.

Как видно из приведенной таблицы 3, с повышением температуры окисления от 240 до 280<sup>0</sup>С повышаются: температура размягчения битумного вяжущего с 43,2<sup>0</sup>С до 55,8<sup>0</sup>С и температура хрупкости с -20,7<sup>0</sup>С до -10,4 <sup>0</sup>С, растяжимость при 25<sup>0</sup>С увеличивается с 62,3 до 139,5 см.

Значения глубины проникновения стандартной иглы в битум (пенетрация) с увеличением температуры окисления уменьшается с 133 до 49.

Глубина проникновения стандартной иглы в битум при 25<sup>0</sup>С – условный показатель, который применяется для характеристики текучести битумного вяжущего. Чем больше вязкость, тем меньше проникание иглы в битум и меньше этот показатель.

Растяжимость (дуктильность) битумного вяжущего при повышении температуры окисления от 240 до 260<sup>0</sup>С показывает повышение значения от 62,3 до 110,4 см, а при дальнейшем увеличении температуры до 280<sup>0</sup>С показывает увеличение значения до 139,5 см.

Дуктильность характеризует пластические свойства битумных вяжущих.

С целью улучшения свойств битумных вяжущих, полученных окислением гудрона ЕНПУ (таблица 3), была проведена серия опытов по их модифицированию резиновой крошкой, что дает возможность утилизировать изношенные шины и решить важную экологическую проблему.

Таблица 3 – Основные показатели качества окисленных битумных вяжущих из гудрона ЕНПУ

Условия процесса окисления гудрона ЕНПУ	Показатели качества			
	Температура размягчения, КиШ, °С	Температура хрупкости, °С	Пенетрация при 25°С, 0,1мм	Растяжимость при 25°С, см
	Гудрон ЕНПУ			
	-	-	297	26,7
	Битумные вяжущие на основе гудрона ЕНПУ			
1. Температура - 240°С Давление - 8 атм Битум ЕНПУ <sub>240</sub> Битум БНД130/200	43,2 не ниже 42	-20,7 не выше -21	133 131-200	62,3 -
2. Температура - 260°С Давление - 8 атм Битум ЕНПУ <sub>260</sub> Битум БНД70/100	49 не ниже 47	-15,3 не выше -18	76 71-100	110,4 -
3. Температура - 280°С Давление - 8 атм Битум ЕНПУ <sub>280</sub> Битум марки БНД35/50	55,8 (не ниже 53)	-10,4 (не выше -14)	49 (36-50)	139,5 -

Таблица 4 - Основные показатели качества битумов нефтяных дорожных по ГОСТ 33133-2014

Наименование показателя	Норма для битума марки						Метод испытания
	БНД 130/200	БНД 100/130	БНД 70/100	БНД 50/70	БНД 35/50	БНД 20/35	
Основные показатели							
1. Глубина проникания иглы при 25°С, 0,1 мм	131-200	101-130	71-100	51-70	36-50	20-35	По ГОСТ 33136
2. Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не ниже	42	45	47	51	53	55	По ГОСТ 33142
3. Температура хрупкости, °С, не выше	-21	-20	-18	-16	-14	-11	По ГОСТ 33143

Одной из проблем использования резиновой крошки является трудность растворения резины в битумных вяжущих. Были проведены эксперименты по исследованию возможности растворения резины в исходном гудроне при температурах 180-300<sup>0</sup>С и битумных вяжущих, полученных при окислении гудрона ЕНПУ при температурах (240-280<sup>0</sup>С) с использованием резиновой крошки разной дисперсности (1 мм и крупных размеров 3-5 мм и более). Исследовалась также возможность растворения резины с применением различных растворителей (бензина, толуола, отработанных масел и др.). Применение растворителей для растворения крошки указанных размеров не дало положительных результатов.

Применение крупных кусков резины для модифицирования приводило к ухудшению комплекса свойств битумного вяжущего, в котором оставались не растворившиеся крупные куски резины, которые оседали в готовом битумном вяжущем и неравномерно распределялись в его объеме. В этом случае не достигалось растворения и однородного распределения резиновой добавки в объеме битума. Эти результаты согласуются с результатами исследований, приведенных в работе [2], которые показывают, что введение в состав битумного вяжущего крупной резиновой крошки приводит к возникновению проблемы седиментации частиц резины в готовом битуме, что отрицательно сказывается на качестве резинобитумного вяжущего, а введение резиновой крошки дисперсностью 0,5 и менее мм приводит к набуханию и деструкции частиц добавки, что уменьшает их оседание.

Для создания однородной гомоген-

ной системы «битумные вяжущие – резиновая крошка» было применено введение резиновой крошки на стадии смешения с гудроном ЕНПУ в смесителе и перемешивание этой системы в течение 1-3 часов. Предварительно гудрон нагревали до температуры 180<sup>0</sup> С и постепенно, при постоянном перемешивании, вводили в него резиновую крошку в количестве 3-20 % на смесь, чтобы не допустить комкования резины. Мешалка работала со скоростью 800-1000 об/мин.

Время и качественное перемешивание гудрона ЕНПУ с резиновой крошкой, наряду с подбором оптимальной рецептуры модифицированного битумного вяжущего, играет важную роль для получения однородного по составу во всех точках объема модифицированного резинового крошкой битумного вяжущего.

Исследование времени перемешивания на свойства модифицированного резинового крошкой битумного вяжущего в количестве 5% показало, что принципиальные изменения свойств вяжущего достигались за первый час смешения и при дальнейшем увеличении времени смешения эти показатели изменялись незначительно (рисунок 1).

При перемешивании резиновой крошки с битумом в смесителе в течение 15-30 минут, т.е. менее 1 часа, наблюдалось частичное расслоение системы «битумное вяжущее + резина».

За время перемешивания резиновой крошки размером 1 мм при температуре 180<sup>0</sup>С в течение одного часа получалась однородная гомогенная система «гудрон + резиновая крошка», уменьшение размера резиновой крошки приводило к некоторому увеличению

температуры размягчения получаемого окисленного битумного вяжущего. При недостаточном перемешивании гудрона ЕНПУ с резиновой крошкой в разные моменты времени полученное битумное вяжущее имело неоднородную концен-

трацию резиновой крошки и, соответственно, неудовлетворительные показатели качества по температурам размягчения и хрупкости, пенетрации и растяжимости.

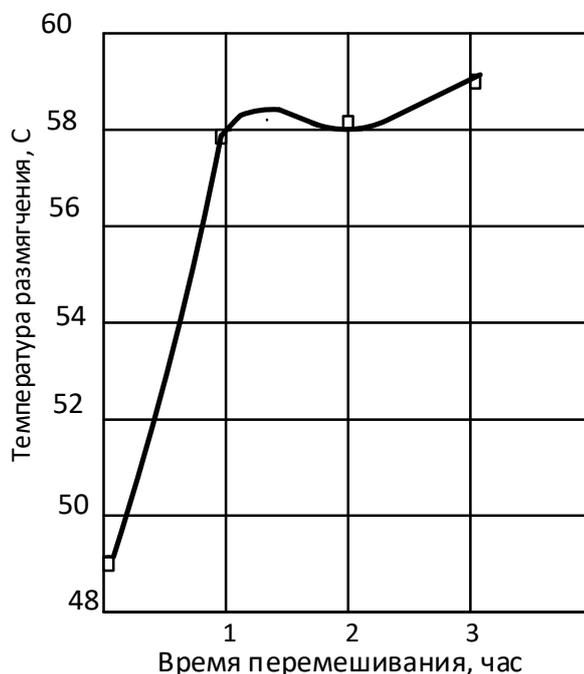


Рисунок 1 – Влияние времени перемешивания резиновой крошки с битумным вяжущим от окисления гудрона ЕНПУ при 260°C на температуру размягчения вяжущего

При применении крупных кусков резиновой крошки для модифицирования гудрона ЕНПУ получалась неоднородная система, состоящая из участков битумного вяжущего и кусков практически не растворившейся резины.

Исходя из приведенного выше, исследования по влиянию количества добавки резиновой крошки на свойства битумных вяжущих, полученных при температурах окисления 240-280°C, проводили при времени перемешивания резиновой крошки и битума в течение 1 часа.

На рисунках 2-5 приведены значения температуры размягчения по коль-

цу и шару (КиШ), температуры хрупкости, пенетрации и растяжимости в зависимости от различного процентного содержания резиновой крошки в битумном вяжущем, полученном при окислении гудрона при температурах 240-280°C в течение 1 часа.

Исследование влияния количества резинового порошка, вводимого для модифицирования битумных вяжущих, показывает повышение температуры размягчения битумного вяжущего с увеличением количества резиновой крошки, добавляемой в битум (рисунок 2).

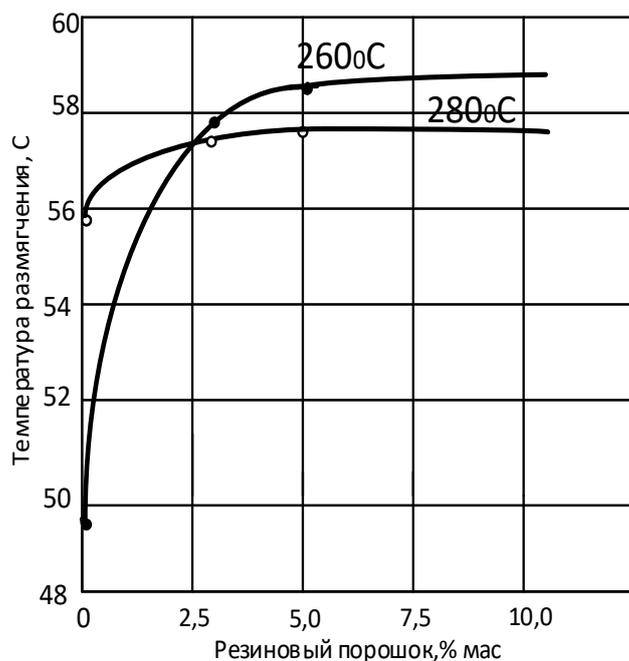


Рисунок 2 - Изменение температуры размягчения по кольцу и шару битумного вяжущего, полученного окислением гудрона ЕНПУ при 260 и 280°C в зависимости от содержания резиновой крошки при перемешивании в течение 1 часа при температуре 180°C

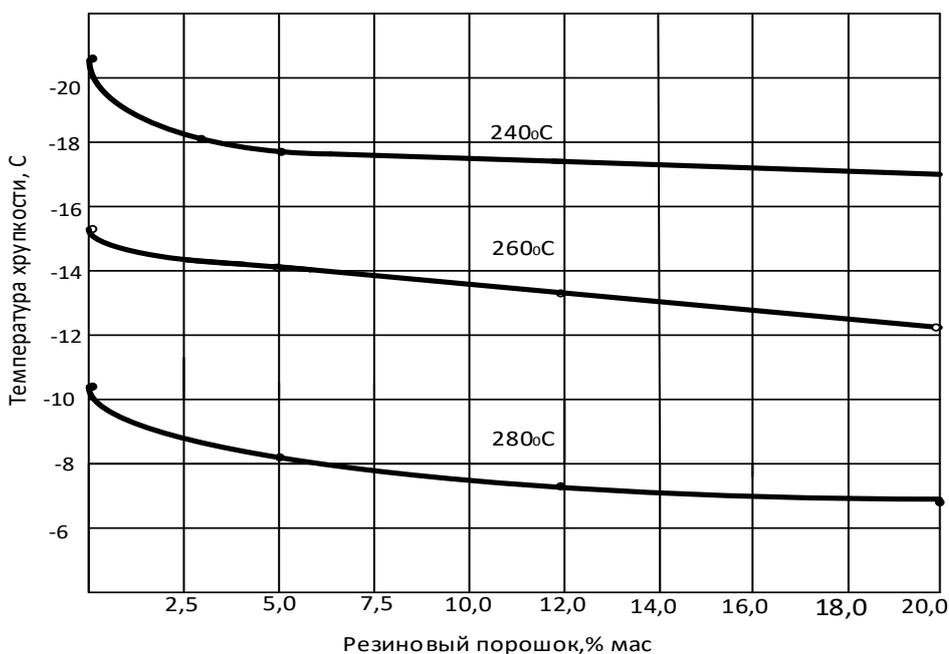


Рисунок 3 - Изменение температуры хрупкости битумного вяжущего, полученного окислением гудрона ЕНПУ при 240°C, 260°C и 280°C в зависимости от содержания резиновой крошки при перемешивании в течение 1 часа при температуре 180°C

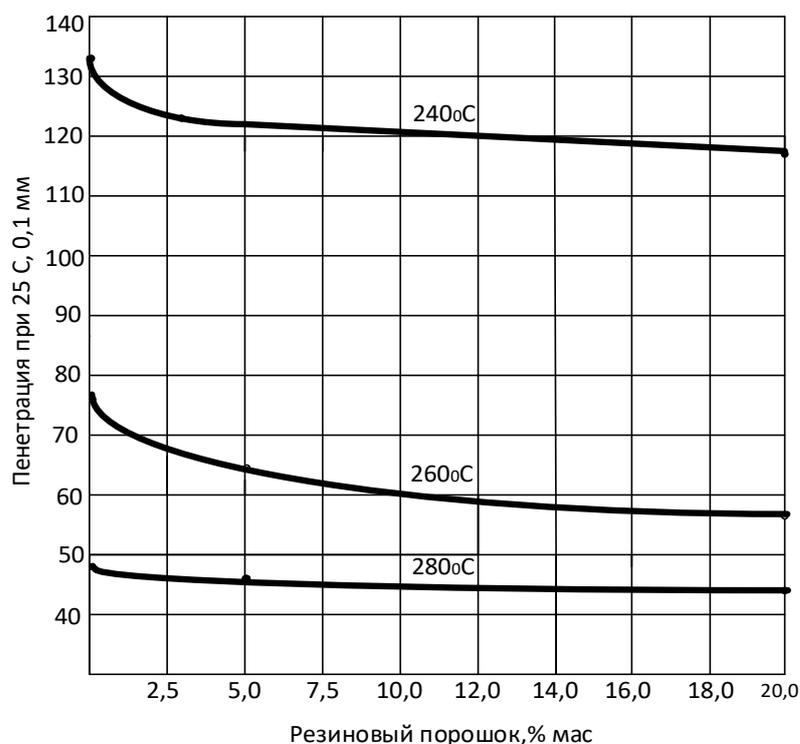


Рисунок 4 - Изменение пенетрации битумного вяжущего, полученного окислением гудрона ЕНПУ при 240°C, 260°C и 280°C в зависимости от содержания резиновой крошки при перемешивании в течение 1 часа при температуре 180°C

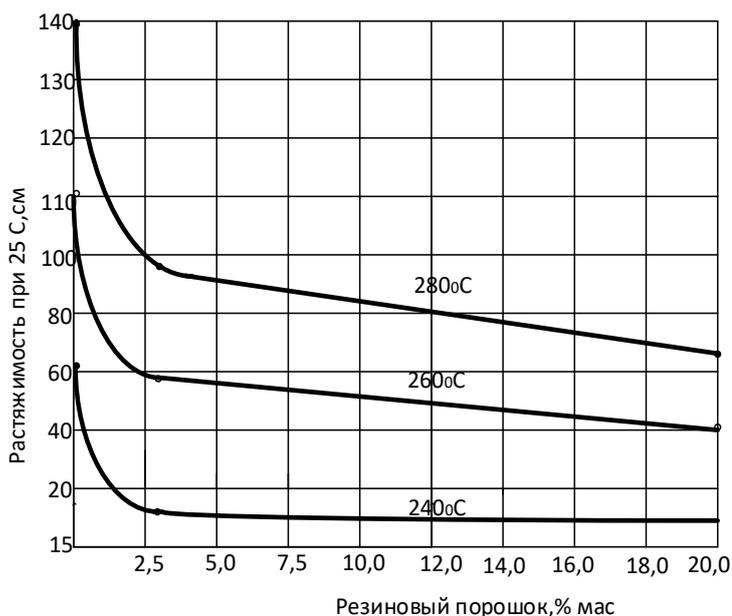


Рисунок 5 - Изменение растяжимости при 25°C для битумного вяжущего, полученного окислением гудрона ЕНПУ при 240°C, 260°C и 280°C в зависимости от содержания резиновой крошки при перемешивании в течение 1 часа при температуре 180°C

Для битумного вяжущего от окисления гудрона при 260°C при добавке резиновой крошки в количестве от 2,5 % масс. и выше наблюдается большее

повышение температуры размягчения, чем для битумных вяжущих, полученных при температуре 280<sup>0</sup>С.

В таблице 5 приведены результаты исследования влияния температуры предварительного смешения резиново-

го порошка с гудроном ЕНПУ в интервале 180-300<sup>0</sup>С на эксплуатационные свойства окисленных битумных вяжущих, полученных при температуре 260<sup>0</sup>С.

Таблица 5 – Влияние температуры предварительного перемешивания гудрона ЕНПУ с резиновым порошком в количестве 5 % мас. в смесителе на эксплуатационные свойства битумных вяжущих, полученных при температурах окисления 260<sup>0</sup>С

№ опыта	Температура перемешивания РТИ с гудроном ЕНПУ, <sup>0</sup> С	Показатели качества			
		Температура размягчения, КиШ, <sup>0</sup> С	Температура хрупкости, <sup>0</sup> С	Пенетрация при 25 <sup>0</sup> С, 0,1мм	Растяжимость при 25 <sup>0</sup> С, см
		Гудрон ЕНПУ			
		-	-	297	26,7
		Битумные вяжущие на основе гудрона ЕНПУ			
1	180	58,5	-14,2	64	57,1
2	280	44,7	-13,2	57,9	56,9
3	300	43,7	-12,1	57	40,7

Повышение температуры предварительного смешения гудрона ЕНПУ с резиновой крошкой со 180<sup>0</sup>С до 300<sup>0</sup>С и дальнейшее проведение процесса окисления полученных гудроно-резиновых смесей при 260<sup>0</sup>С приводит к изменению качественных показателей битумных вяжущих: понижению температуры размягчения с 58,5<sup>0</sup>С до 43,7 <sup>0</sup>С (Δ 14,8<sup>0</sup>С), пенетрации при 25<sup>0</sup>С с 6,4 до 5,7 см (Δ 0,7), растяжимости при 25<sup>0</sup>С с 57,1 до 40,7 см (Δ 16,4) и повышению температуры хрупкости с - 14,2 до -12,1 (Δ -2,8<sup>0</sup>С).

Битумные вяжущие, полученные по условиям опыта № 1: при температуре предварительного перемешивания гудрона с резиновой крошкой 180<sup>0</sup>С и окисления 260<sup>0</sup>С соответствуют нормам показателей битумов нефтяных дорожных по ГОСТ 33133 -2014 марки БНД

59/70 по температуре размягчения, пенетрации и не достигают показателей по температуре хрупкости на Δ 1,8<sup>0</sup>С.

Прогрев смеси гудрона с резиновой крошкой в течение 1 часа при повышении температуры со 180 до 300<sup>0</sup>С вызывает изменение структуры гудрона, что связано с переходами структурно-групповых компонентов гудрона и резиновой крошки.

В процессе смешения резинового порошка с гудроном происходит его взаимодействие с легкими низкомолекулярными фракциями гудрона, приводящее к набуханию резины и вымыванию из нее растворимых ингредиентов с уменьшением ее массы [3].

Одновременно с процессами набухания резинового порошка в процессе нагревания протекают также процессы его термодеструкции, скорость и сте-

пень протекания которых зависит от температуры и продолжительности смещения гудрона с резиной. Изучение этих процессов являются целью дальнейших исследований авторов.

### **Заключение**

Проблема утилизации вышедших из эксплуатации шин имеет большое экологическое и экономическое значение во всех экономически развитых странах, в том числе и для РФ, где эта проблема стоит весьма остро. На решение этой проблемы в стране направлены многие государственные программы и законодательные акты, исследованиями этого направления занимаются многие научно-исследовательские коллективы.

Одним из направлений решения проблемы изношенных шин является модификация битумных вяжущих резиновой крошкой.

В настоящем исследовании в качестве основного компонента битумного вяжущего применяли битум, полученный окислением гудрона ЕНПУ, представленного для исследования ПАО «Татнефть».

Для исследования возможности улучшения его свойств была проведена серия опытов по модифицированию битумных вяжущих резиновой крошкой,

полученной измельчением отработанных шин и выделением отсева резиновой крошки размером 1 мм. Проведены исследования по влиянию размеров резиновой крошки и ее содержания, температуры перемешивания и условий окисления на свойства битумных вяжущих.

Критерием оценки влияния резиновой крошки в качестве модификатора битумных вяжущих явились температуры хрупкости и размягчения по КиШ, пенетрация и растяжимость при 25<sup>0</sup>С. Приведенные результаты показывают эффективное влияние резиновой крошки на улучшение этих показателей и необходимость проведения дальнейших исследований для более глубокого изучения процесса модифицирования битумных вяжущих резиновой крошкой.

*Исследование проводится в рамках НИР «Разработка метода комбинированной утилизации резинотехнических изделий и остатков переработки нефти с получением битумов улучшенных эксплуатационных свойств» по договору №13-10/1015-1 от 15.10.2018 г., заключенному между ГГНТУ имени акад. М.Д. Миллионщикова и ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина.*

### **Библиографический список**

1. Ахмадова Х.Х., Махмудова Л.Ш., Хадисова Ж.Т., Абдулмежидова З.А. Модифицирование битумных вяжущих резиновой крошкой: аналитический обзор // Научные исследования: итоги и перспективы. 2020. Т.1. № 2. С. 10-28.
2. Осипчик В.С., Костромина Н.Д., Олихова Ю.В., Сербин С.А., Ивашкина В.Н., Аристов В.М. Резинонаполненный дорожный битумный материал с улучшенными эксплуатационными свойствами // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. № 22. С. 57-60.
3. Джумаева О., Солодова Н.Л., Емельянычева Е.А. Основные тенденции производства битумов в России // Вестник технологического университета. 2015. Т.18. № 20. С.132-

### **References**

1. Ahmadova Kh.Kh., Makhmudova L.Sh., Hadisova Zh.T., Abdulmezhidova Z.A. Modifikovanie bitumnyh vyazhushchih rezinovoj kroshkoj: analiticheskij obzor // Nauchnye issledovaniya: itogi i perspektivy. 2020. T.1. № 2. S. 10-28.
2. Osipchik V.S., Kostromina N.D., Olihova YU.V., Serbin S.A., Ivashkina V.N., Aristov V.M. Rezinonapolnennyy dorozhnyj bitumnyj material s uluchshennymi ekspluatatsionnymi svoystvami // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2016. T.19. № 22. S. 57- 60.
3. Dzhumaeva O., Solodova N.L., Emel'yanycheva E.A. Osnovnye tendencii proizvodstva bitumov v Rossii // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2015. T.18. № 20. S.132-134.

*Статья поступила 7.06.2020 г.*

© Х.Х. Ахмадова, Л.Ш. Махмудова, Ж.Т. Хадисова, З.А. Абдулмежидова, 2020

---

### **Сведения об авторах List of Authors**

---

*Ахмадова Х.Х.* – доктор технических наук, профессор кафедры химической технологии нефти и газа Грозненского государственного нефтяного технического университета им. акад. М.Д. Миллионщикова.

*Akhmadova Kh.Kh.* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas, Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov.

*Махмудова Л.Ш.* – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой химической технологии нефти и газа Грозненского государственного нефтяного технического университета им. акад. М.Д. Миллионщикова.

*Makhmudova L.Sh.* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas, Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov.

*Хадисова Ж.Т.* – кандидат химических наук, доцент кафедры химической технологии нефти и газа Грозненского государственного нефтяного технического университета им. акад. М.Д. Миллионщикова.

*Khadisova Zh.T.* – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas, Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov.

*Абдулмежидова З.А.* – кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии нефти и газа Грозненского государственного нефтяного технического университета им. акад. М.Д. Миллионщикова.

*Abdulmezhidova Z.A.* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas, Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov.

## КИНЕТИКА ПРОЦЕССА КОАЛЕСЦЕНЦИИ КАПЕЛЬ ВОДЫ В ЭМУЛЬСИИ «НЕФТЬ-ВОДА»

Аль-Фадхли Кхзаал Хамид Кхзаал, Н.Н. Балобаева, А.А. Дегтярев

Тамбовский государственный технический университет

Тамбов

nina\_balobaeva@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности процесса разделения эмульсий «нефть-вода», сопровождающегося коалесценцией капель воды, распределенных в нефти. Представлены результаты экспериментальных исследований процесса разделения эмульсии «нефть-вода» и получены кинетические зависимости для описания этого процесса.

**Ключевые слова:** нефть, вода, эмульсии, коалесценция, кинетика.

**Abstract.** The article discusses the features of the process of separation of oil-water emulsions, accompanied by coalescence of water droplets distributed in oil. The results of experimental studies of the separation process of the oil-water emulsion are presented and kinetic dependences for describing this process are obtained.

**Keywords:** oil, water, emulsions, coalescence, kinetics.

### Введение

В процессе добычи нефти при снижении давления в нефтеносном пласте применяется его заводнение, позволяющее увеличить объем добываемого сырья за счет разности плотностей нефти и воды. В результате интенсивного перемешивания нефти с водой образуются устойчивые эмульсии, в которых дисперсной фазой является вода, а дисперсионной средой – нефть [1]. Наличие воды в нефти негативно сказывается на работе технологического оборудования, трубопроводов и эффективности процессов ее переработки [2]. Таким образом, актуальны исследования для

определения технологических параметров, повышающих эффективность процесса разделения эмульсий «нефть-вода».

### Исследование кинетики процесса разделения эмульсии «нефть-вода»

В процессе разделения эмульсий «нефть-вода» наиболее вероятно слипание (коалесценция) капель воды, отличающихся по размеру [3, 4]. Константу скорости коалесценции для частиц объемами  $V_1$  и  $V_2$  можно представить виде зависимости:

$$k(V_1, V_2) = \beta \cdot \left( \sqrt[3]{\frac{V_1}{V_2}} + \sqrt[3]{\frac{V_2}{V_1}} \right)^2 \quad (1)$$

При разбивке диапазона размеров капель на отрезки по объему одиночной капли (рисунок), получим:

$$\Delta V = V_{i+1} - V_i \quad (2)$$

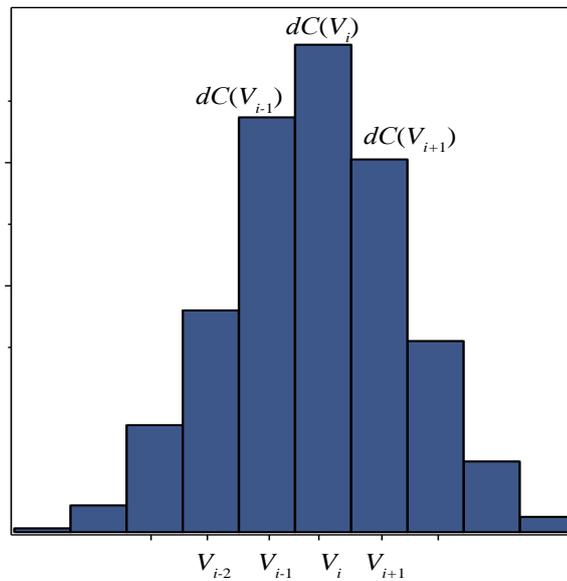


Рисунок – Распределение частиц эмульсии по объему капли

Тогда вклад в общую скорость слипания капель от капель с радиусами  $V_i$  и  $V_j$  можно выразить зависимостью:

$$k(V_i, V_j) \cdot dC(V_i, \tau) \cdot dC(V_j, \tau), \quad (3)$$

где  $dC(V_i, \tau)$  количество частиц с объемом  $V_i \pm \frac{1}{2} \Delta V$  в эмульсии в момент времени  $\tau$  (шт/м<sup>3</sup>). Очевидно, что при  $\Delta V \rightarrow 0$ :

$$dC(V_i, \tau) = C_{all}(\tau) \cdot \rho(V_i, \tau) \cdot dV, \quad (1)$$

где  $C_{all}(\tau)$  – суммарная концентрация всех капель (шт/м<sup>3</sup>),  $\rho(V_i, \tau)$  – функция

плотности распределения частиц по объему (м<sup>-3</sup>).

Доля концентрации  $dC(V_i, \tau)$  будет уменьшаться за счет слипания частиц объемом  $V_i$ :

$$r_- = dC(V_i, \tau) \cdot \int_0^\infty k(V_i, V_j) \cdot dC(V_j, \tau) \quad (5)$$

и увеличиваться за счет слипания частиц объемами меньшими  $V_i$  между собой:

$$r_+ = \int_0^{V_i} [k(V_i - V_j, V_j) \cdot dC(V_i - V_j, \tau)] \cdot dC(V_j, \tau). \quad (2)$$

В уравнении (6) акты слипания частиц учитываются 2 раза, при  $V_i - V_j > V_j$  и  $V_i - V_j < V_j$ , следовательно, истинное

уменьшение концентрации будет в 2 раза меньше:

$$r_+ = 0.5 \cdot \int_0^{V_i} [k(V_i - V_j, V_j) \cdot dC(V_i - V_j, \tau)] \cdot dC(V_j, \tau). \quad (7)$$

Выведем выражения для прироста и убыли доли частиц  $dC(V_i, \tau)$  с учетом (1).

$$r_+ = 0.5 \cdot \int_0^{V_i} [k(V_i - V_j, V_j) \cdot \rho(V_i - V_j, \tau) C_{all}(\tau) dV_i] \rho(V_j, \tau) C_{all}(\tau) dV_j. \quad (8)$$

Так как  $C_{all}(\tau)$  и  $V_i$  не зависит от  $V_j$ , то

$$r_+ = 0.5 \cdot C_{all}^2(\tau) \cdot dV_i \int_0^{V_i} k(V_i - V_j, V_j) \cdot \rho(V_i - V_j, \tau) \rho(V_j, \tau) dV_j. \quad (9)$$

Убыль:

$$r_- = \rho(V_i, \tau) C_{all}(\tau) dV_i \cdot \int_0^\infty k(V_i, V_j) \cdot \rho(V_j, \tau) C_{all}(\tau) dV_j \quad (10)$$

$$r_- = \rho(V_i, \tau) C_{all}^2(\tau) dV_i \cdot \int_0^\infty k(V_i, V_j) \cdot \rho(V_j, \tau) dV_j. \quad (11)$$

Изменение концентрации частиц объема  $V_i$  за время  $d\tau$  может быть представлено:

$$dC(V_i, \tau + d\tau) - dC(V_i, \tau) = C_{all}(\tau + d\tau) \cdot \rho(V_i, \tau + d\tau) \cdot dV_i - C_{all}(\tau) \cdot \rho(V_i, \tau) \cdot dV_i. \quad (12)$$

Введем функцию  $C_\rho(V_i, \tau)$  с размерностью шт/м<sup>6</sup>:

$$C_\rho(V_i, \tau) = C_{all}(\tau) \cdot \rho(V_i, \tau). \quad (13)$$

Тогда выражения (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**), (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**) и (12) можно переписать в виде:

$$r_+ = 0.5 \cdot dV_i \int_0^{V_i} k(V_i - V_j, V_j) \cdot C_\rho(V_i - V_j, \tau) C_\rho(V_j, \tau) dV_j \quad (3)$$

$$r_- = C_\rho(V_i, \tau) dV_i \cdot \int_0^\infty k(V_i, V_j) \cdot C_\rho(V_j, \tau) dV_j \quad (15)$$

$$dC(V_i, \tau + d\tau) - dC(V_i, \tau) = C_\rho(V_i, \tau + d\tau) \cdot dV_i - C_\rho(V_i, \tau) \cdot dV_i. \quad (164)$$

Из баланса количества капель следует, что

$$C_\rho(V_i, \tau + d\tau) \cdot dV_i - C_\rho(V_i, \tau) \cdot dV_i = (r_+ - r_-) d\tau. \quad (17)$$

С учетом (3-15) имеем:

$$\begin{aligned} & C_\rho(V_i, \tau + d\tau) \cdot dV_i - C_\rho(V_i, \tau) \cdot dV_i = \\ & = \left( 0.5 \cdot dV_i \int_0^{V_i} k(V_i - V_j, V_j) \cdot C_\rho(V_i - V_j, \tau) C_\rho(V_j, \tau) dV_j - \right. \\ & \quad \left. - C_\rho(V_i, \tau) dV_i \cdot \int_0^\infty k(V_i, V_j) \cdot C_\rho(V_j, \tau) dV_j \right) d\tau \end{aligned} \quad (5)$$

Поделив обе части на  $d\tau$  и, переходя к пределу  $d\tau \rightarrow 0$ , имеем:

$$\frac{\partial c_{\rho}(V_i, \tau)}{\partial \tau} = 0.5 \int_0^{V_i} k(V_i - V_j, V_j) \cdot C_{\rho}(V_i - V_j, \tau) C_{\rho}(V_j, \tau) dV_j - C_{\rho}(V_i, \tau) \int_0^{\infty} k(V_i, V_j) \cdot C_{\rho}(V_j, \tau) dV_j \quad (6)$$

### Заключение

Полученное интегрально-дифференциальное уравнение будет определять распределение капель по размерам в течение времени.

Кинетику процесса будут определять коэффициент  $\beta$ , характеризующий

свойства непрерывной среды, и склонность капель к коалесценции, имеющая размерность  $\text{м}^3/(\text{шт} \cdot \text{с})$  и начальное распределение частиц по размерам  $C_{\rho}(V_i, 0)$ .

### Библиографический список

1. Калинин В.Т., Мазухина, С.И. Маслобоев В.А., Чудненко К.В., Максимова В.В. Особенности взаимодействия нефть-вода в морских и пресных водах // Доклады академии наук. 2013. Т. 449. № 5. С. 535-538.
2. Давыдова К.М. Влияние содержания объемной доли воды в нефти на скорость потока жидких углеводородов в трубопроводе // Булатовские чтения. 2020. Т. 4. С. 44-46.
3. Логинов В.И., Лапига Е.Я. Учет процесса коалесценции капель при определении передаточных функций отстойных аппаратов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 1981. № 6. С. 18-29.
4. Тонкошуров Б.П., Серб-Сербина Н.Н., Смирнова А.М. Основы химического деэмульгирования нефтей: сборник научных трудов / Под ред. П.А. Ребиндера. - М.: Гостоптехиздат, 1946. – 69 с.

### References

1. Kalinnikov V.T., Mazuhina, S.I. Masloboev V.A., Chudnenko K.V., Maksimova V.V. Osobennosti vzaimodejstviya neft'-voda v morskikh i presnyh vodah // Doklady akademii nauk. 2013. T. 449. № 5. S. 535-538.
2. Davydova K.M. Vliyanie soderzhaniya ob'emnoj doli vody v nefiti na skorost' potoka zhidkih uglevodorodov v truboprovode // Bulatovskie chteniya. 2020. T. 4. S. 44-46.
3. Loginov V.I., Lapiga E.YA. Uchet processa koalescencii kapel' pri opredelenii peredatochnyh funkcij otstojnyh apparatov // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Neft' i gaz. 1981. № 6. S. 18-29.
4. Tonkoshurov B.P., Serb-Serbina N.N., Smirnova A.M. Osnovy himicheskogo deemul'girovaniya neftej: sbornik nauchnyh trudov / Pod red. P.A. Rebindera. - M.: Gostoptekhizdat, 1946. – 69 s.

Статья поступила 12.05.2020 г.

© Аль-Фадхли Кхзаал Хамид Кхзаал, Н.Н. Балобаева, А.А. Дегтярев, 2020

---

**Сведения об авторах**  
**List of Authors**

---

*Аль-Фадхли Кхазаал Хамид Кхазаал* – аспирант кафедры химии и химической технологии Тамбовского государственного технического университета.

*Al-Fadhli Khazaal Hamid Khazaal* – postgraduate student of the Department of Chemistry and Chemical Technology, Tambov State Technical University.

*Балобаева Н.Н.* – кандидат технических наук, технолог лаборатории использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов Всероссийского научно-исследовательского института использования нефти и нефтепродуктов в сельском хозяйстве.

*Balobaeva N.N.* – Candidate of Technical Sciences, Technologist of the Laboratory for the use of Lubricants and Waste Oil Products of the All-Russian Scientific Research Institute for the use of Machinery and Oil Products in Agriculture.

*Дегтярев А.А.* – кандидат технических наук, доцент кафедры химии и химической технологии Тамбовского государственного технического университета.

*Degtyarev A.A.* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technology, Tambov State Technical University.

## ОШИБКА В ОПРЕДЕЛЕНИИ КООРДИНАТ ОБЪЕКТА ПРИ ПОМОЩИ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Т.Г. Асланов, Р.Р. Мусаилов

Дагестанский государственный технический университет  
Махачкала  
tabasik@gmail.com

**Аннотация.** В работе предложены два новых метода определения координат объектов при помощи навигационных систем. Получены графики распределения ошибок в определении координат объекта (с использованием овала Кассини и комбинированного метода эллипсоида и гиперboloида) в зависимости от взаимного расположения двух навигационных спутников и объекта при различных значениях их ошибок в определении разностей времен регистрации на объекте радиоимпульсов.

**Ключевые слова:** навигационный спутник, сфера, гиперboloид, уравнение, эллипсоид, овал Кассини, ошибка.

**Abstract.** The paper proposes two new methods for determining the coordinates of objects using navigation systems. The graphs of the distribution of errors in determining the coordinates of an object (using the Cassini oval and the combined method of an ellipsoid and a hyperboloid) are obtained depending on the relative position of two navigation satellites and an object with different values of their errors in determining the differences in the recording times on the object of radio pulses.

**Keywords:** navigation satellite, sphere, hyperboloid, equation, ellipsoid, Cassini oval, error.

### Введение

На сегодняшний день одним из наиболее часто используемых методов в определении координат объекта при помощи навигационных систем является метод сфер [1-2]. При этом в методе сфер возникают большие ошибки [3],

вызванные пересечением сфер под острыми углами.

В работе приводится метод определения координат исследуемого объекта методом эллипсоидов и гиперboloидов, с минимально возможной ошибкой за счет пересечения гипербо-

лоида и эллипсоида под прямым углом. Также в работе приводятся математические зависимости, позволяющие построить распределение ошибок в определении координат исследуемого объекта навигационными спутниками по методу овала Кассини. Использование овала Кассини позволяет определять координаты гипоцентра землетрясения с меньшими ошибками на большом интервале расстояний между спутниками.

### Определение координат объекта комбинированным методом эллипсоидов и гиперблоидов

Пусть спутники расположены в точках  $S_1$  и  $S_2$  (рисунок 1) на расстояниях  $R_1$  и  $R_2$  от истинного положения объекта  $O_{\text{и}}$ . Геометрическим местом точек, соответствующих постоянной разности расстояний от истинного расположения объекта до спутников, является гипербола, а постоянной сумме расстояний от объекта до спутников – эллипс.  $O_{\text{р}}$  –

расчётное положение объекта, вызванное наличием ошибок  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  в определении расстояний  $R_1$  и  $R_2$ .

Для удобства расчётов спутник  $S_1$  расположим в начале координат и примем за опорный. По разности времени прихода радиоволны от спутников к объекту и расстоянию от опорного спутника до объекта может быть получено уравнение эллипса в полярных координатах [4]:

$$R = \frac{(R_1 + R_2)^2 - X_2^2}{2(R_1 + R_2) - 2X_2 \cos \varphi} \quad (1)$$

где  $R$  – расстояние от начала координат до объекта,  $R_1 + R_2 = \text{const}$ ;  $R_1, R_2$  – фокальные радиусы эллипса;  $X_2$  – расстояние от опорного до второго спутника (длина отрезка от  $S_1$  до  $S_2$ );  $\varphi$  – полярный угол, образованный прямой, проходящей через два спутника, и фокальным радиусом, исходящим из начала координат.

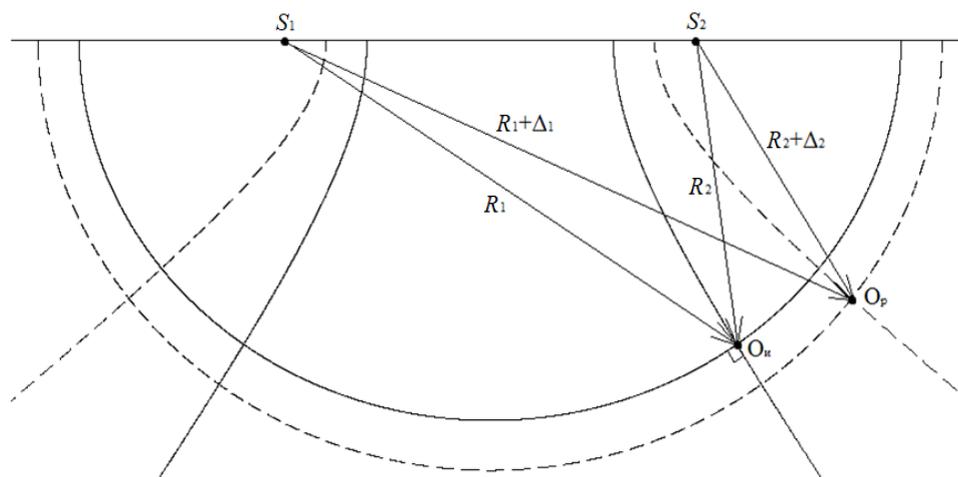


Рисунок 1 – Взаимное расположение спутников и объекта на плоскости

Для построения эллипса необходимо иметь значение суммы расстояний от объекта до спутников  $S_1$  и  $S_2$ . Для нахождения суммы расстояний воспользуемся методом сфер [4].

После подстановки в уравнение (1) параметров уравнения сферы  $R_1$  и  $R_2$  получим,

$$R = \frac{c^2(\Delta t_1 + \Delta t_2)^2 - X_2^2}{2c(\Delta t_1 + \Delta t_2) - 2X_2 \cos \varphi} \quad (2)$$

Уравнение гиперболы в соответствии с уравнением [5] имеет вид,

$$R = \frac{X_2^2 - c^2(\Delta t_1 - \Delta t_2)^2}{2c(\Delta t_1 - \Delta t_2) + 2X_2 \cos \varphi'} \quad (3)$$

Приравняв правые части уравнений (2) и (3), получим,

$$\cos \varphi = \frac{c^2(t_2^2 - t_1^2) + X^2}{2cXt_2}.$$

После подстановки  $\cos \varphi$  в уравнение (3) получим расстояние от начала координат до объекта.

Для сравнительного анализа точности определения координат по комбинированному методу гиперболы и окружности рассчитанного в декартовой системе координат приведенному в работе [5], с комбинированным методом эллипса и гиперболы, уравнения опре-

деляющую угол  $\cos \varphi$ , и уравнения (3) запишем в декартовой системе координат.

Эпицентральная координата объекта может быть найден по следующей формуле:

$$X = \frac{c^2(t_2^2 - t_1^2)t_1 + X^2t_1}{2Xt_2}, \quad (4)$$

а высота расположения объекта

$$Z = \sqrt{R^2 - X^2}. \quad (5)$$

На рисунке 2 приведены графические зависимости ошибки в определении координат объекта на плоскости, проходящей через два спутника и объект, полученные моделированием в среде MatLab.

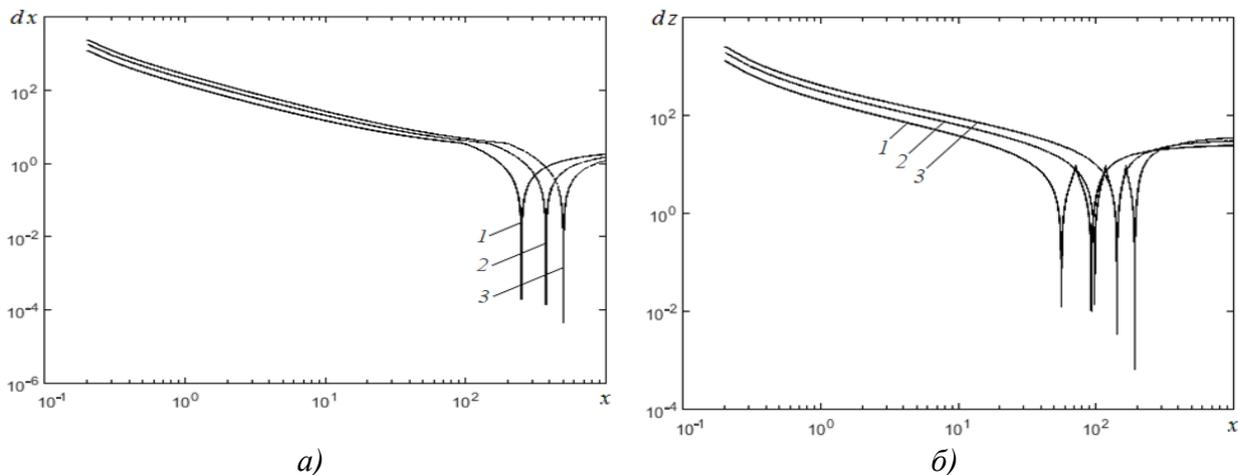


Рисунок 2 – Ошибки в определении координат исследуемого объекта

Рисунку 2, а и б соответствуют ошибки, направленные в сторону увеличения расстояния от спутников до объекта.

При моделировании инструментальная ошибка измерения разности времени пробега радиоволн принята равной 0,5 мкс.

Кривым 1, 2 и 3 соответствуют удаления эпицентра объекта от опорного спутника на расстояния 1000, 1500 и

2000 км соответственно, а высота расположения спутников принята равной 100 км.

### Определение координат объекта с использованием фигуры четвертого порядка – овал Кассини

Пусть спутники 1 и 2 (рисунок 3) расположены в точках  $S_1$  и  $S_2$ . Для удобства расчетов, расположим спутник  $S_1$  в начале координат, и примем его за

опорный.

На рисунке 3 приведены геометрические соотношения, возникающие при определении координат исследуемого объекта с использованием овала Кассини и гиперболы, сплошной линией изображены кривые, вычисленные без ошибок, а пунктирной линией с ошибкой

в определении разности времен прихода радиоволны. Точке  $O$  соответствуют координаты объекта без ошибки, а точке  $O_1$  при их наличии. Расстояния  $R_1$  и  $R_2$  определяют овал Кассини как квадрат постоянной величины их произведения, и гиперболы как двойная постоянная величина разности расстояний.

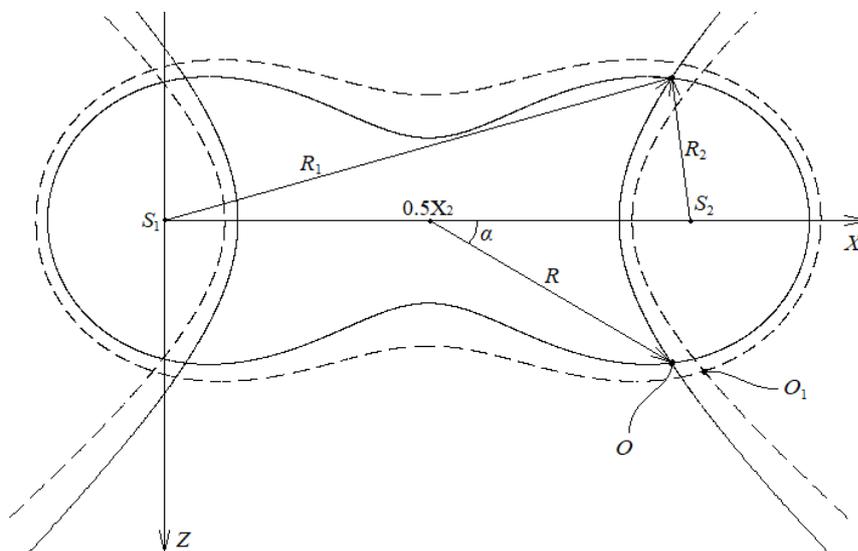


Рисунок 3 – Геометрическое представление определения координат с использованием овала Кассини и гиперболы

Расстояние от опорного навигационного спутника до исследуемого объекта по разности времен прихода радиоволны от двух спутников, может быть вычислено по уравнению гиперболы в полярных координатах [6]:

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{X_2^2 c^2 (t_1 - t_2)^2 - c^4 (t_1 - t_2)^4}{X_2^2 \cos^2(\alpha) - c^2 (t_1 - t_2)^2}}, \quad (6)$$

где:  $X_2$  – координата второго спутника,  $t_1$

и  $t_2$  – время прихода радиоволны от спутников к объекту;  $\alpha$  – полярный угол, определяющий через расстояние  $R$  множество точек возможного расположения исследуемого объекта образующих кривые второго и четвертого порядка – гиперболу и овал Кассини, а также по овалу Кассини в полярных координатах [7]:

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{X_2^2 \cos(2\alpha) \pm \sqrt{X_2^4 \cos^2(2\alpha) + 16R_1^2 R_2^2 - X_2^4}}, \quad (7)$$

Для нахождения координат объекта приравняем выражения (6) и (7), где после некоторых преобразований

получим

$$a \cos^2 2\alpha + b \cos 2\alpha + c = 0,$$

где

$$a = 4(t_r V_1)^4 X_2^4 - 4(t_r V_1)^2 X_2^6 - 16R_1^2 R_2^2 X_2^4 + X_2^8;$$

$$b = 12(t_r V_1)^4 X_2^4 - 8(t_r V_1)^6 X_2^2 + 64R_1^2 R_2^2 X_2^2 (t_r V_1)^2 - 8(t_r V_1)^2 X_2^6 - 32R_1^2 R_2^2 X_2^4 + 2X_2^8;$$

$$c = 4(t_r V_1)^8 - 8(t_r V_1)^6 X_2^2 - 64R_1^2 R_2^2 (t_r V_1)^4 + 8(t_r V_1)^4 X_2^4 + 64R_1^2 R_2^2 X_2^2 (t_r V_1)^2 - 4(t_r V_1)^2 X_2^6 - 16R_1^2 R_2^2 X_2^4 - X_2^8.$$

Тогда угол  $\alpha$  может быть найден по выражению:

$$\alpha = \frac{\arccos\left(\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}\right)}{2}.$$

После подстановки  $\alpha$  в уравнение (6) и рассчитав расстояние до объекта можно вычислить координаты исследуемого объекта по следующим формулам:

$$Z = R \sin \alpha; X = R \cos \alpha.$$

На рисунке 4 приведены зависимости ошибки в определении координат объекта от взаимного расположения навигационных спутников и исследуемого объекта на плоскости, проходящей

через два спутника и объект.

Рисунки 4, а и б соответствуют ошибкам, направленным в сторону увеличения расстояния от навигационных спутников до исследуемого объекта. При моделировании, инструментальная ошибка измерения разностей времен пробега сейсмических волн к спутникам, принята равной 0,5 мкс.

Кривым 1, 2 и 3 соответствуют удаления исследуемого объекта от опорного спутника на расстояния 1000, 2000 и 3000 км, соответственно, а высота спутников принята равной 100 км.

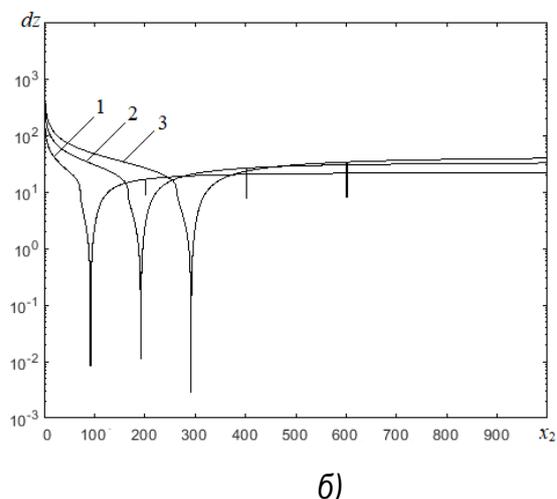
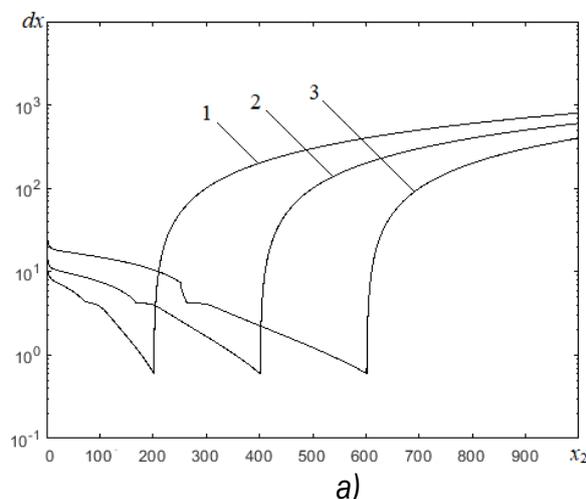


Рисунок 4 – Ошибки в определении координат исследуемого объекта в плоскости, проходящей через два спутника и объект

### Заключение

На рисунках 2 и 4 из-за наличия ошибок в измерении времени прихода радиоволн, и в связи с близким расположением навигационных спутников, графики стремятся к бесконечности, что приводит к преобразованию гиперболы в эллипс. В результате этого эллипс с

эллипсом или овалом Кассини, не пересекаются.

Спады в значениях ошибок на рисунках 2 и 4 соответствуют расположению одного из навигационных спутников непосредственно над объектом.

Рассмотренный комбинированный метод даёт меньшие ошибки по сравне-

нию с методом сфер, если навигационные спутники расположены в разных сторонах от объекта.

Предложенный комбинированный метод позволяет определить с меньшими ошибками высоту расположения объекта при удаленном расположении от объекта навигационных спутников.

При расположении навигационных спутников как по одну сторону, так и по разные стороны от объекта, предложенный метод с овалом Кассини позволяет определять координаты объекта с

меньшими ошибками, по сравнению с известными методами, на больших расстояниях не зависимо от знака ошибки.

Результаты расчета по предложенному методу не зависят от знака ошибки в определении разностей времен регистрации радиоволн, следовательно, результаты расчета могут быть использованы для первоначального определения координат объекта, и сравнения его с результатами других методов для выявления знака ошибки.

### **Библиографический список**

1. Козловский Е. Искусство позиционирования // Вокруг света. 2006. № 12 (2795). С. 204-280.
2. Шебшаевич В.С., Дмитриев П. П., Иванцев Н. В. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / под ред. В. С. Шебшаевича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1993. – 408 с.
3. Горбачёв А. Ю. Математическая модель погрешностей GPS // Авиакосмическое приборостроение. 2010. № 5. С. 34-41.
4. Асланов Т.Г. Определение координат очага землетрясения с использованием комбинированного метода // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017. Т. 44. № 2. С.118-125.
5. Казаков А.Я., Жихарева А.А. Аналитическая геометрия [Электронный ресурс]: Учебное пособие. Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/e\\_books/analit\\_geometr\\_2014/glava/anal\\_geom.pdf](http://publish.sutd.ru/e_books/analit_geometr_2014/glava/anal_geom.pdf) – ЭБС СПГУТД (Дата обращения: 20.08.2016).
6. Шахтарин Б.И., Асланов Г.К., Асланов Т.Г. К определению координат очага землетрясения с использованием фигур второго порядка – эллипса и гиперболы // Автоматизация. Современные технологии. 2018. № 1. С. 53-59.
7. Асланов Т.Г. Определение координат очага землетрясения с использованием комбинированного метода // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017. Т. 44. № 2. С.118-125.

### **References**

1. Kozlovskij E. Iskusstvo pozicionirovaniya // Vokrug sveta. 2006. № 12 (2795). S. 204-280.
2. Shebshaevich V.S., Dmitriev P. P., Ivanczev N. V. i dr. Setevy`e sputnikovy`e radionavigaczionny`e sistemy` / pod red. V. S. Shebshaevicha. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Radio i svyaz`, 1993. – 408 s.
3. Gorbachyov A. Yu. Matematicheskaya model` pogreshnostej GPS // Aviakosmicheskoe priborostroenie. 2010. № 5. S. 34-41.
4. Aslanov T.G. Opredelenie koordinat ochaga zemletryaseniya s ispol`zovaniem kombinirovannogo metoda // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo uni-

versiteta. Tekhnicheskie nauki. 2017. T. 44. № 2. S.118-125.

5. Kazakov A.Ya., Zhikhareva A.A. Analiticheskaya geometriya [E`lektronny` resurs]: Uchebnoe posobie. Rezhim dostupa: [http://publish.sutd.ru/e\\_books/analit\\_geometr\\_2014/glava/anal\\_geom.pdf](http://publish.sutd.ru/e_books/analit_geometr_2014/glava/anal_geom.pdf) – E`BS SPGUTD (Data obrashheniya: 20.08.2016).

6. Shakhtarin B.I., Aslanov G.K., Aslanov T.G. K opredeleniyu koordinat ochaga zemletryaseniya s ispol`zovaniem figur vtorogo poryadka – e`llipsa i giperboly` // Avtomati-zacziya. Sovremennyye tekhnologii. 2018. № 1. S. 53-59.

7. Aslanov T.G. Opredelenie koordinat ochaga zemletryaseniya s ispol`zovaniem kombinirovannogo metoda // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2017. T. 44. № 2. S.118-125.

*Статья поступила 10.09.2020 г.  
© Т.Г. Асланов, Р.Р. Мусаилов, 2020*

---

**Сведения об авторах**  
**List of Authors**

---

*Асланов Т.Г.* – кандидат технических наук, заведующий кафедрой управления и информатики в технических системах и вычислительной техники Дагестанского государственного технического университета.

*Aslanov T.G.* – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering, Daghestan State Technical University.

*Мусаилов Р.Р.* – старший преподаватель кафедры управления и информатики в технических системах и вычислительной техники Дагестанского государственного технического университета.

*Musaibov R.R.* – Senior Lecturer at the Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering, Daghestan State Technical University.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПОРОШКОВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

А.А. Попова<sup>1</sup>, И.Н. Шубин<sup>1</sup>, М.К. Гусейнов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тамбовский государственный технический университет  
Тамбов

<sup>2</sup>Дагестанский государственный технический университет  
Махачкала  
alyona.popova.93@list.ru

**Аннотация.** Исследованы порошки углеродных наноматериалов, полученных на магнийникелевом катализаторе, с помощью струйного сепаратора импактора и лазерного анализатора частиц «Микросайзер 201С».

По интегральным кривым распределения массы частиц по размерам установлено, что углеродные наноматериалы представляют собой не отдельные углеродные нанобъекты, а агломераты, образующиеся в результате электростатического взаимодействия частиц.

**Ключевые слова:** дисперсный материал, наноматериал, механизмы смешивания, смеситель, качество смешивания.

**Abstract.** Powders of carbon nanomaterials obtained on the Mg/Ni magnesium nickel catalyst were investigated using the impactor jet separator and the «Microsizer 201C» particle laser analyzer.

According to the integral curves of the particle mass distribution by size, it was found that carbon nanomaterials are not separate carbon nanobjects, but agglomerates formed as a result of electrostatic interaction of particles.

**Keywords:** dispersed material, nanomaterial, mixing mechanisms, mixer, quality of mixing.

### Введение

Новейшие нанотехнологии, наряду с информационными и биотехнологиями, являются фундаментом научно-технической революции в XXI веке. Развитие науки о наноматериалах позволит решить задачи, связанные с обеспечением обороны и безопасности страны, повышением качества жизни населения, достижением экономического роста, развитием образования и

культуры, которые являются стратегическими национальными приоритетами Российской Федерации [1]. Поэтому в настоящее время научные исследования в области нанотехнологий весьма актуальны.

Успех в развитии nanoиндустрии зависит от того, насколько надёжны способы получения и методы диагностики наноматериалов. Решение проблем получения и диагностики нанома-

териалов открывает возможность создания принципиально новых устройств с характеристиками, основанными на наноразмерных эффектах [2].

Несмотря на то, что дисперсные материалы перерабатываются в промышленности уже долгие годы, их смешивание до сих пор остается одним из самых малоизученных физических процессов. Одной из основных проблем, возникающих при переработке тонко- и нанодисперсных материалов, включая промышленные пыли и порошки, является приготовление однородных по составу композиций [3, 4].

Данная работа посвящена исследованию дисперсного состава порошков, полученных на магнийникелевом катализаторе (Mg/Ni) [5].

### Методика исследования

Определение дисперсного состава порошка углеродных наноматериалов осуществляли с помощью лазерного анализатора частиц «Микросайзер 201С», предназначенного для быстрого измерения распределения частиц по размерам в суспензиях и струйного сепаратора (импактора). По сравнению со струйным сепаратором лазерный анализатор «Микросайзер 201С» дает более точные данные.

Излучение в анализаторе «Микросайзер 201С», полученное вследствие прохождения рассеянного луча через кювету с исследуемой суспензией, регистрируется с помощью специальной фотодиодной матрицы (рисунок 1), ко-

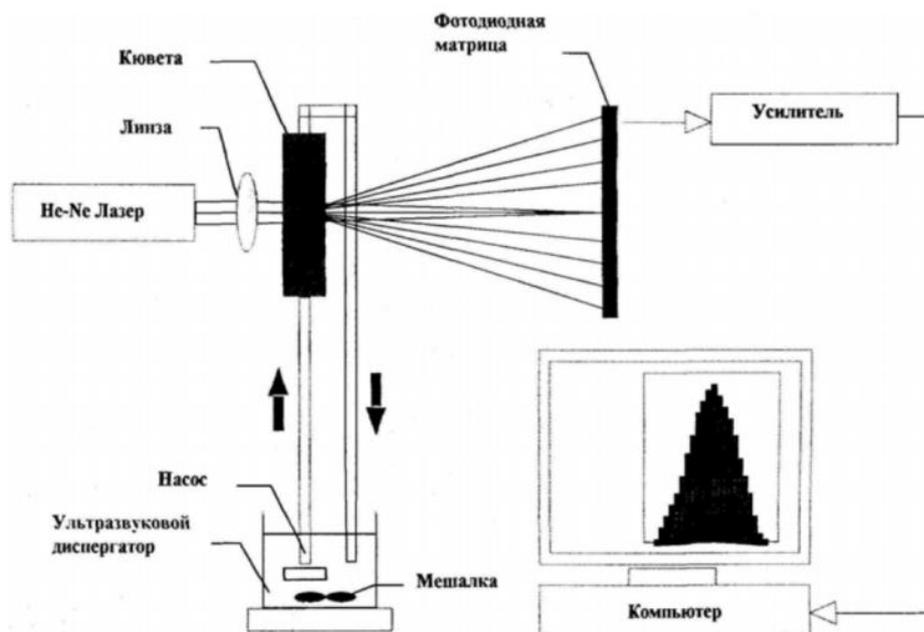


Рисунок 1 – Схема лазерного анализатора частиц «Микросайзер 201С»

которая обеспечивает одновременное измерение интенсивности рассеянного и не рассеянного излучения. Для полу-

чения достаточно полной информации о распределении частиц по размерам все частицы исследуемой суспензии

проходят через световой пучок несколько раз, результаты измерений усредняются автоматически. Поскольку исследуемые частицы достаточно быстро оседают и склонны к агломерации, суспензию частиц подвергают воздействию ультразвука и непрерывно перемешивают.

### Результаты исследований и выводы

Результаты анализа, представляющие собой зависимость весовой доли частиц  $P$  в процентах от их диаметра  $D$ , представлены на рисунке 2.

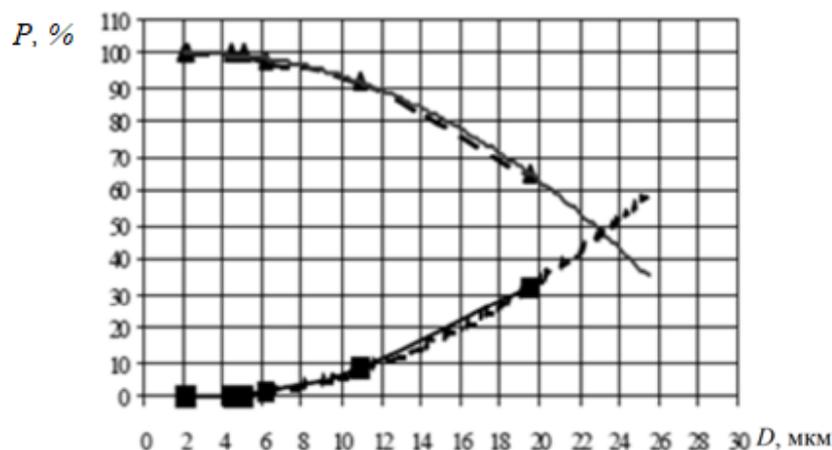


Рисунок 2 – Интегральные кривые распределения массы частиц по размерам:

- – кривая относительной массы частиц, диаметр которых больше  $d_{50i}^{действ}$ ;
- ▲ – масса частиц, диаметр которых меньше  $d_{50i}^{действ}$ .

Из полученных данных следует, что средний размер частиц в исследуемых суспензиях составляет  $\sim 4$  мкм. Таким образом, по интегральным кривым распределения массы частиц по размерам, характерным для всех изученных образцов, можно сделать вывод, что угле-

родные наноматериалы представляют собой не отдельные углеродные нанобъекты, а агломераты, образовавшиеся в результате электростатического взаимодействия частиц, что характерно для всех мелкодисперсных аллотропных модификаций углерода.

### Библиографический список

1. Основы политики Российской Федерации в области науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу // Поиск. 2002. № 16 (19 апреля).
2. Алферов Ж.И., Асеев А.Л., Гапонов С.В., Копьев П.С, Панов В.И., Полторацкий Э.А., Сибельдин Н.Н., Сурис Р.А. Наноматериалы и нанотехнологий // Микросистемная техника. 2003. № 8. С. 3-13.
3. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. - М.: Машиностроение, 1973. - 216 с.
4. Таров В.П., Пасько А.А., Блинов С.В., Шубин И.Н. Техника и технологии переработки сыпучих материалов. –Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. - 86 с.
5. Ткачев А.Г., Пасько А.А., Баранов А.А., Пасько Т.В., Меметов Н.Р. Шубин И.Н. Диагностика физико-механических характеристик наноматериалов. Ч.1. – Тамбов: Изд-во

### References

1. *Osnovy politiki Rossijskoj Federacii v oblasti nauki i tekhnologii na period do 2010 goda i dal'nejshuyu perspektivu // Poisk. 2002. № 16 (19 aprelya).*
2. *Alferov ZH.I., Aseev A.L., Gaponov S.V., Kop'ev P.S, Panov V.I., Poltorac-kij E.A., Sibel'din N.N., Suris R.A. Nanomaterialy i nanotekhnologii // Mikrosistem-naya tekhnika. 2003. № 8. S. 3-13.*
3. *Makarov YU.I. Apparaty dlya smesheniya sypuchih materialov. - M.: Mashinostroe-nie, 1973. - 216 s.*
4. *Tarov V.P., Pas'ko A.A., Blinov S.V., SHubin I.N. Tekhnika i tekhnologii pererabot-ki sypuchih materialov. –Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2013. - 86 s.*
5. *Tkachev A.G., Pas'ko A.A., Baranov A.A., Pas'ko T.V., Memetov N.R. SHubin I.N. Diagnostika fiziko-mekhanicheskikh harakteristik nanomaterialov. CH.1. – Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2014. - 96 s.*

Статья поступила 8.07.2020 г.

© А.А. Попова, И.Н. Шубин, М.К. Гусейнов, 2020

---

### Сведения об авторах List of Authors

---

*Попова А.А.* – аспирант кафедры техники и технологии производства нанопродуктов Тамбовского государственного технического университета.

*Popova A.A.* – Graduate Student of the Department of Technology and Technology of Nanoproducs Production, Tambov State Technical University.

*Шубин И.Н.* – кандидат технических наук, доцент кафедры техники и технологии производства нанопродуктов Тамбовского государственного технического университета.

*Shubin I.N.* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Production of Nanoproducs, Tambov State Technical University.

*Гусейнов М.К.* – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Дагестанского государственного технического университета.

*Guseynov M.K.* – Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor of the Department of Physics, Daghestan State Technical University.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ ПРОФИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Чан Динь Ван, М.В. Вартанов

Московский политехнический университет

Москва

trandinhvan1221@gmail.com

**Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы компьютерного моделирования процесса роботизированной сборки профильных соединений. Определены области изменения конструктивных и динамических параметров, при которых совпадение осей собираемых деталей происходит быстро и безотказно.

**Ключевые слова:** роботизированная сборка, профильное соединение, моделирование процесса роботизированной сборки.

**Abstract.** The paper deals with the issues of computer modeling of the process of robotic assembly of profile connections. Areas of change of design and dynamic parameters are determined, in which the coincidence of the axes of the assembled parts occurs quickly and without failure.

**Keywords:** robotic assembly, profile connection, simulation of the robotic assembly process.

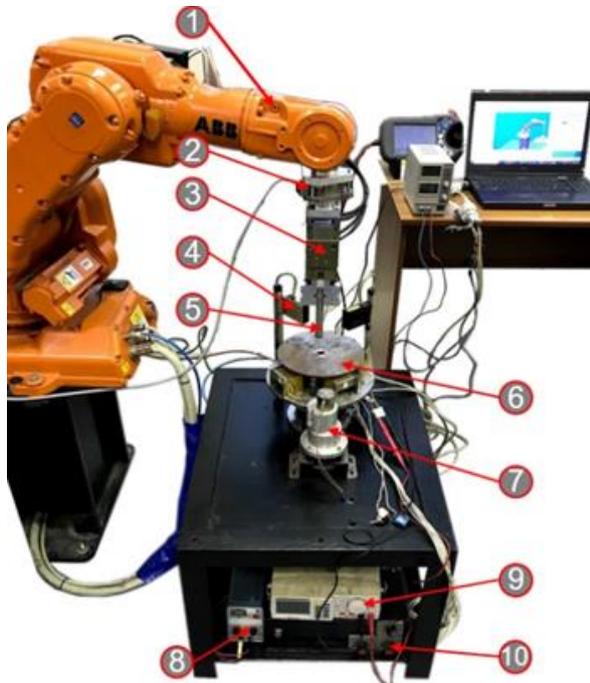
### Введение

Предлагается метод роботизированной сборки профильных соединений типа «вал–втулка» с применением адаптации и вибрационных колебаний [1]. Предполагается, что виброколебания базовой детали помимо обеспечения направленного совмещения центров масс деталей позволят исключить влияние взаимного перекоса на процесс сопряжения, так как это чаще всего приводит к заклиниванию деталей.

### Экспериментальная часть

С целью проверки адекватности математической модели была создана экспериментальная установка, показанная на рисунке 1. Устанавливаемый вал удерживается схватом. Втулка установлена в центре вибрационного диска. Вибрационные колебания обеспечиваются генератором низкочастотных колебаний. Частота колебаний контролируется с помощью электронного частотомера, а фактическая амплитуда коле-

баний виброопоры отслеживаются бесконтактными лазерными датчиками. Все сигналы собираются и обрабатываются компьютером. Виброопора совершает вращательное движение с постоянной угловой скоростью  $\omega$  вокруг верти-



кальной оси. В результате при проведении эксперимента обеспечивался непрерывный контроль и необходимая корректировка текущих значений технологических параметров.

*Рисунок 1 – Экспериментальная установка для исследования роботизированной сборки при наличии вибраций и вращения схвата:  
1 - промышленный робот ABB IRB 140;  
2 - силомоментный датчик;  
3 - схват; 4 - лазерные датчики;  
5 - экспериментальные образцы;  
6 - виброопора; 7 - электродвигатель постоянного тока; 8 - управляемый преобразователь; 9 - электронный частотомер; 10 - генератор низкочастотных колебаний*

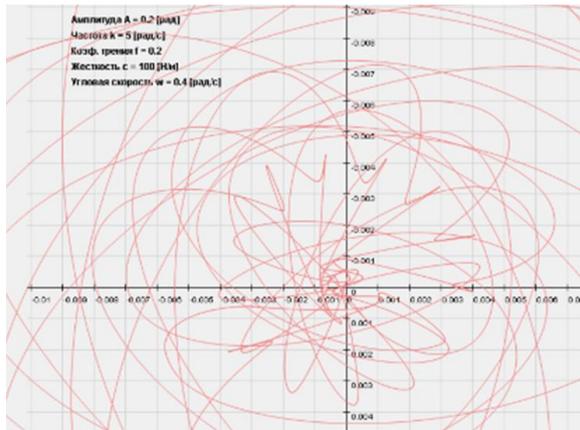
Экспериментальные исследования были проведены ранее. На данном этапе планировалось проведение математического моделирования процесса роботизированной сборки на основе созданной математической модели и реализующей ее компьютерной программы [2]. С целью исследования влияния на движение вала различных сочетаний динамических и конструктивных параметров был спланирован численный эксперимент. Чтобы найти область режимов при небольшом числе опытов, был спланирован дробно-факторный эксперимент с изменением трех параметров [3]: амплитуда колебаний, круговая частота колебаний, угловая скорость.

Исходные данные: масса вала –

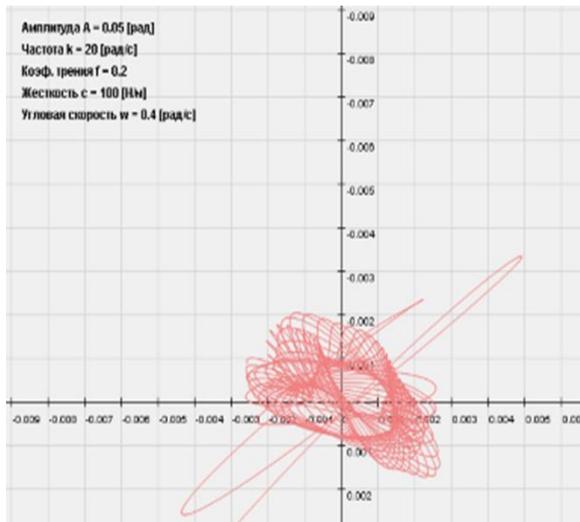
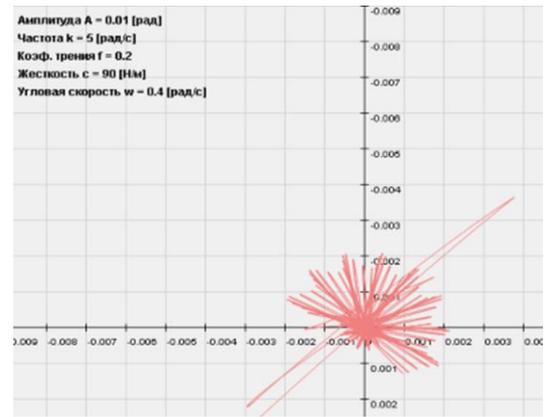
0,13 кг; радиус вала – 0,005 м; высота вала – 0,1 м; конструктивный размер  $h$  – 0,04 м.

### Результаты

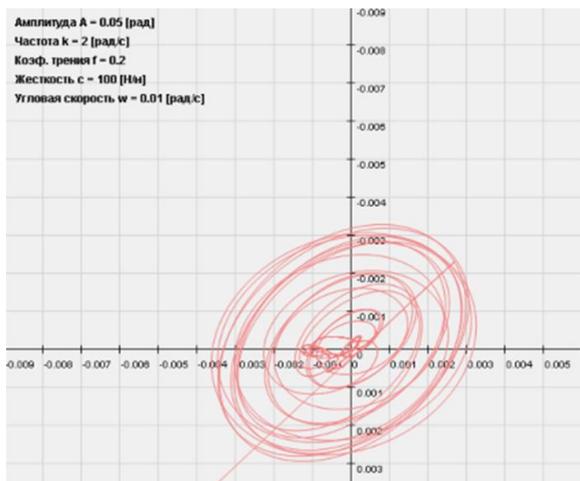
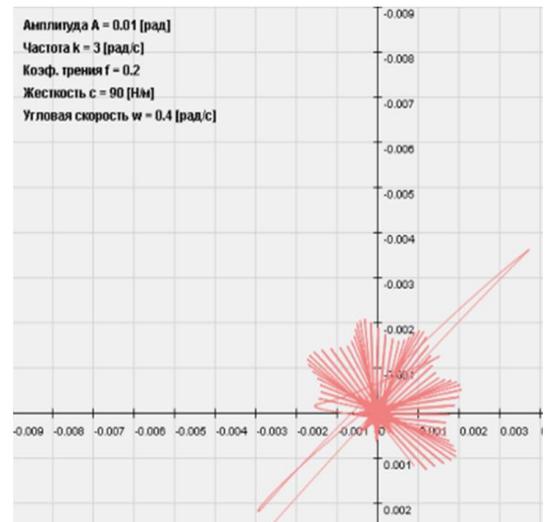
С целью определения режимов, при которых обеспечивается перемещение вала к центру втулки, была проведена серия опытов. Постепенное сужение диапазонов варьирования было достигнуто за счет исключения режимов, не обеспечивающих траекторию совмещения. Примеры таких режимов и соответствующих траекторий (рисунок 2). После определения интервалов варьирования в соответствии с планом был проведен дробный трехфакторный эксперимент. Анализ полученных траекторий дал результаты, показанные на рисунках 3, 4 и 5.



а



б



в

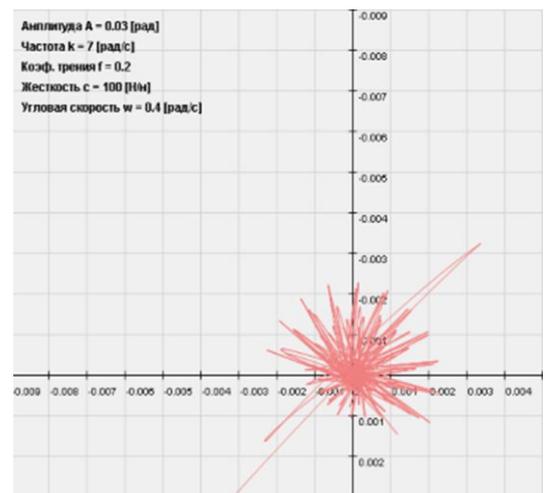


Рисунок 2 – Траектории совмещения: а) избыточная величина амплитуды колебаний при средних значениях частоты; б) избыточная величина частоты колебаний; в) недостаточная величина угловая скорость колебаний

Рисунок 3 – Влияние амплитуды колебаний на движение центра масс вала к оси базовой детали

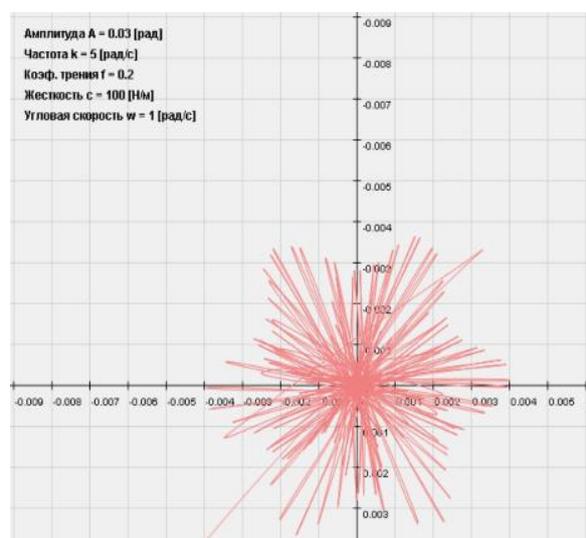
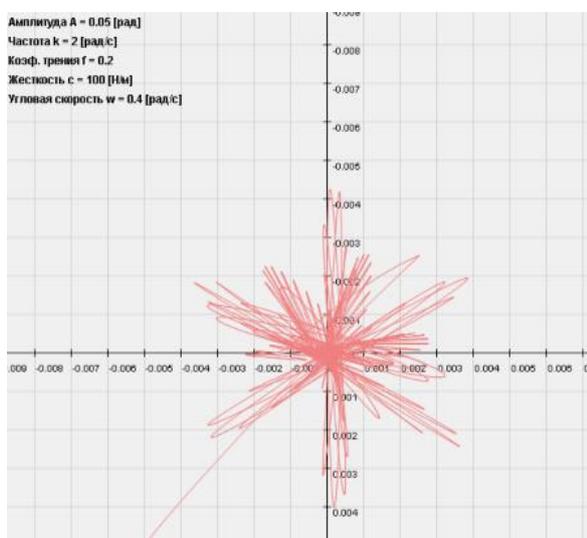
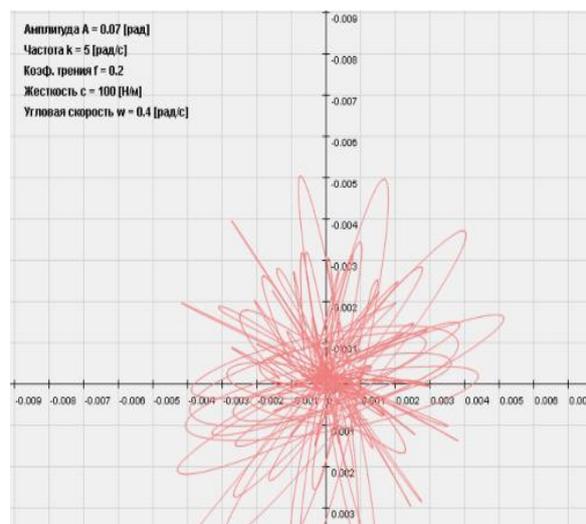
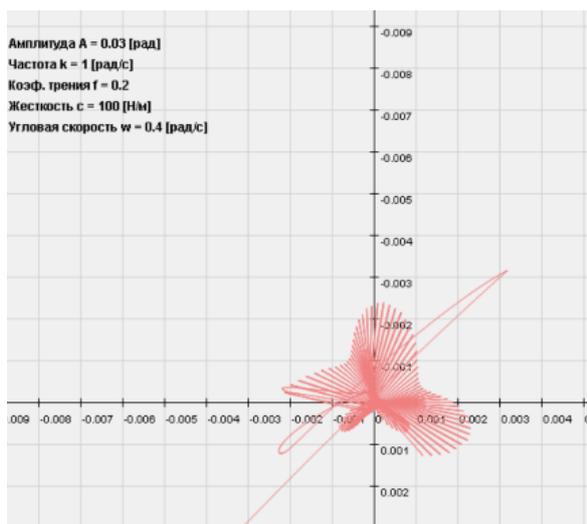
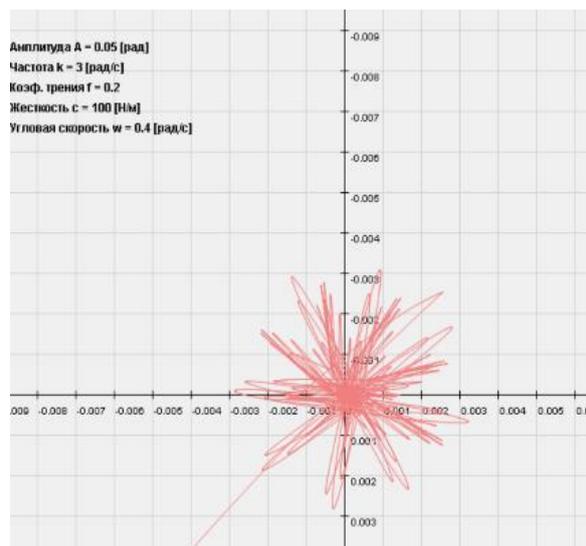
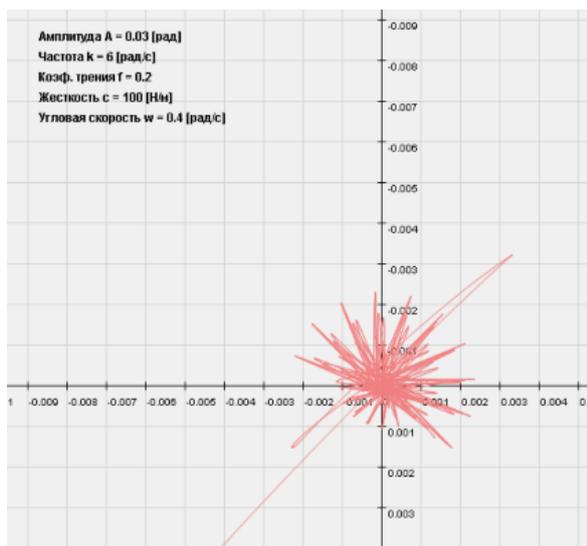


Рисунок 4 – Влияние частоты на движение центра масс вала

Рисунок 5 – Влияние угловой скорости ( $\omega$ ) на движение центра масс вала

## Выводы

Результаты моделирования подтвердили предположение о том, что существует область изменения динамических и конструктивных параметров, при которой центр масс присоединяемой детали достаточно быстро асимптотически приближается к оси базовой детали.

В эксперименте был выбран коэффициент трения скольжения в точке контакта, и жесткость упругих элементов схвата оставалась постоянной ( $f = 0,2$  и  $C = 100$  н/м). Таким образом, была найдена область значений амплитуд, частот и угловых скоростей, обеспечивающих стабильное движение центра масс вала к центру втулки (рисунок 6).

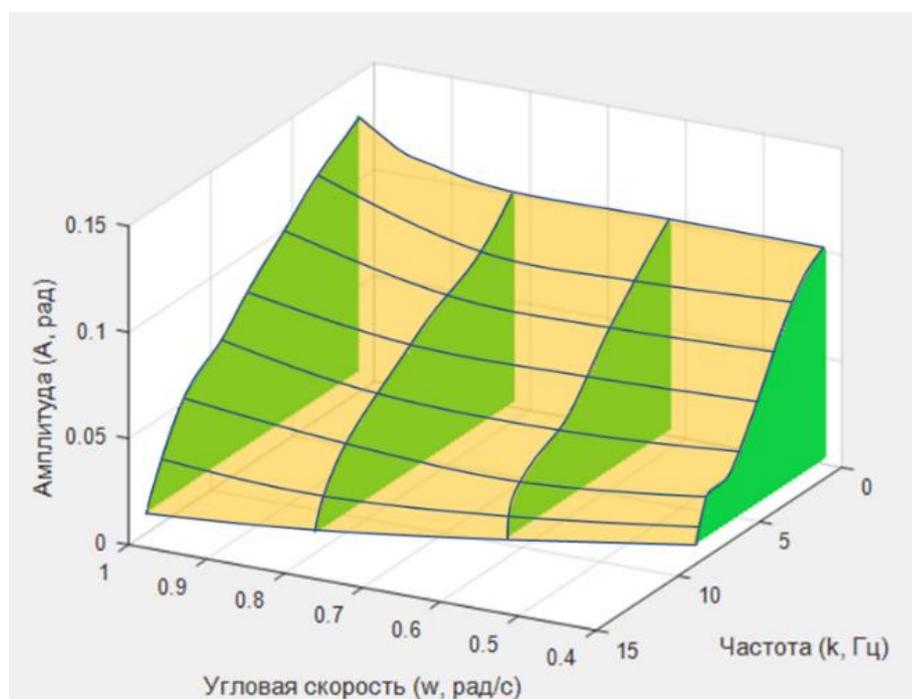


Рисунок 6 – Область значений амплитуды, частоты и угловой скорости, обеспечивающих стабильное движение центра масс вала к центру втулки

Анализ результатов показывает, что процесс протекает эффективно при следующих значениях технологических и конструктивных параметров: амплитуда колебаний  $A=0,01-0,1$  рад; частота колебаний  $K = 1...15$  Гц; жесткость  $C$  упругих элементов адаптивного захватного устройства  $80 \dots 100$  Н/м; угловая скорость  $\omega = 0,3...1$  рад/с; сборочное усилие  $P = 5...10$  Н. Проведено компьютерное моделирование, найдены зависимости между амплитудой и частотой колебаний, трением и угловой скоростью вращения. Полученный в ходе

физического эксперимента результат определяет область оптимальных значений параметров, обеспечивающих наилучшие условия сборки. В целом полученная моделированием поверхность адекватна результатам физического эксперимента, хотя и существуют определенные расхождения, обусловленные, с одной стороны, сложностью математической модели динамики процесса [4], а с другой – погрешностями при выполнении физического эксперимента.

### **Библиографический список**

1. Vartanov M.V., Zinina I.N., Bozhkova L.V. Mathematical Model of Robotic Assembly by means Adaptation and Low-frequency Vibration // *Assembly Automation*, 2017, V. 37, № 1, p. 130-134.
2. Вартанов М.В., Божкова Л.В., Бакена Мбуа Ж.-К. Программа моделирования процесса роботизированной сборки профильных соединений // Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 16726 от 11.02.2011.
3. Кристаль М.Г., Горелова А.Ю. Обработка результатов планирования экстремального эксперимента. - Волгоград: ВолГТУ, 2019. – 70 с.
4. Божкова Л.В., Вартанов М.В. Автоматизация сборки изделий с применением промышленных роботов и виброустройств. - М.: Наука, 2013. - 318 с.

### **References**

1. Vartanov M.V., Zinina I.N., Bozhkova L.V. Mathematical Model of Robotic Assembly by means Adaptation and Low-frequency Vibration // *Assembly Automation*, 2017, V. 37, № 1, p. 130-134.
2. Vartanov M.V., Bozhkova L.V., Bakena Mbua ZH.-K. Programma modelirovaniya processa robotizirovannoj sborki profil'nyh soedinenij // *Svidetel'stvo o registracii elektronnoho resursa № 16726 ot 11.02.2011.*
3. Kristal' M.G., Gorelova A.YU. Obrabotka rezul'tatov planirovaniya ekstremal'-nogo eksperimeta. - Volgograd: VolGTU, 2019. – 70 s.
4. Bozhkova L.V., Vartanov M.V. Avtomatizaciya sborki izdelij s primeneniem promyshlennyh robotov i vibroustrojstv. - M.: Nauka, 2013. - 318 s.

*Статья поступила 23.05.2020 г.*  
© Чан Динь Ван, М.В. Вартанов, 2020

---

### **Сведения об авторах** **List of Authors**

---

*Чан Динь Ван* – студент факультета машиностроения Московского политехнического университета.

*Chang Din Wang* – Student of the Faculty of Mechanical Engineering, Moscow Polytechnic University.

*Вартанов М.В.* – доктор технических наук, профессор кафедры технологий и оборудования машиностроения Московского политехнического университета.

*Vartanov M.V.* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technologies and Equipment for Mechanical Engineering, Moscow Polytechnic University.

## УСИЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННЫХ ЗОН ДОЩАТОКЛЕЕНОЙ БАЛКИ АРМИРОВАНИЕМ УГЛЕРОДНОЙ ТКАНЬЮ

Т.О. Устарханов, Г.Г. Ирзаев, Р.И. Вишталов

Дагестанский государственный технический университет  
Махачкала  
shamhal.90@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрена возможность повышения прочности клееных деревянных конструкций за счет армирования углеродным волокном напряженных зон, приведены расчетные формулы предела прочности клееных деревянных балок. Проведен анализ свойств и способов получения углеволокна, обуславливающих технологичность его применения для усиления деревянных конструкций. Приведены результаты испытаний дощатоклееных балок, усиленных различными способами углеродной тканью.

**Ключевые слова:** деревянная клееная балка, углеродное волокно, напряженная зона, армирование, усиление балки, анизотропия, прочность материала, углеродная ткань.

**Abstract.** The possibility of increasing the strength of glued de-zealous structures due to carbon fiber reinforcement of the glued zones is considered, the calculated formulas of the ultimate strength of glued wooden beams are given. Analysis of properties and methods of production of carbon-locon, which determine processability of its application for strengthening de-zealous structures, was carried out. Results of tests of plank-glued beams reinforced with carbon cloth by various methods are given.

**Keywords:** wooden glued beam, carbon fiber, intense zone, reinforcing, strengthening of a beam, anisotropy, material durability, carbon fabric.

### Введение

В современном строительстве при проектировании новых конструкций, реконструкции эксплуатируемых зданий и сооружений возникает необходимость совершенствования и повышения эф-

фективности работы конструкций из древесины. В последнее время альтернативным способом повышения прочности изгибаемых клееных деревянных конструкций (КДК) является усиление поперечного сечения балок путем

внешнего армирования растянутых зон композитными материалами [1, 2, 3]. Благодаря сочетанию комплекса высоких механических, диэлектрических и теплофизических характеристик, технологичности и экономической доступности в последнее время частое применение при усилении клееных деревянных балок находят полимерные композитные материалы. Из описаний исследователей известно использование стержневых элементов различного профиля, тканых полотен, сеток из стекловолокна, углеволокна, арамидоволокна, базальтоволокна и др., которые клеивают в наиболее напряженные зоны конструкций [4, 5, 6, 7].

На практике применяются разные способы усиления строительных конструкций, которые повышают их несущую способность. Однако эти методы усиления не всегда экономически обоснованы и технологически выгодны. В последнее время промышленностью получены и предложены тканевые материалы на основе углеродных волокон

$$\sigma_1 = \sigma_{\text{пр}\alpha}^+ = 0,5 \left[ \sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \right] \leq R_\alpha^+ m_i / \gamma_n,$$

где  $\sigma_{\text{пр}}$  – приведенное растягивающее напряжение ( $\sigma_{\text{пр}\alpha} = \varepsilon_{\text{max}} E_\alpha$ ), действующее под углом к волокнам древесины в направлении максимальной деформации  $\varepsilon_{\text{max}}$ ;  $\sigma_1$  – главное растягивающее напряжение;  $m_i$  и  $\gamma_n$  – совокупность коэффициентов условий работы и класса сооружения;  $\alpha$  – угол действия главных или приведенных (в направлениях, близких к диагональному) напряжений относительно направления волокон древесины;  $R_\alpha^+$  – расчетное сопротивление клееной древесины, полученное по следующей тензориальной формуле Рабиновича-Ашкенази:

(например, FibARM). Применение этих материалов для усиления КДК показала их эффективность по сравнению с другими методами.

### Методы исследования и перспективные армирующие композиты

Клееные конструкции из дерева, чаще всего, подвержены изгибающим и сжимающим нагрузкам, находятся в довольно сложных напряженно-деформированных состояниях (НДС). Известные неоднородности цельной древесины, являющейся слоистым материалом, в значительной степени сглаживаются при переходе к клееной слоями древесине. Прочность КДК по критерию, основанному на первой классической гипотезе и экспериментально подтвержденному исследователями, позволяет учитывать три характеристики прочности материала, определяемые в соответствии с нормами проектирования [8]:

$$R_\alpha^+ = R_0 / \cos^2 \alpha + B \sin^2 2\alpha + t \sin^4 \alpha$$

$$\text{где } B = \frac{R_0^+}{R_{45}^+} - \frac{1+t}{4}; t = \frac{R_0^+}{R_{90}^+}.$$

Угол  $\alpha$  определяется по формулам:

при

$$\sigma_x - \sigma_y > 0, \alpha = 0,5 \arctg \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y};$$

при  $\sigma_x - \sigma_y = 0, \alpha = 45^\circ$ ;

при

$$\sigma_x - \sigma_y < 0, \alpha = 0,5 \left( 180^\circ - \arctg \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \right).$$

Анализ работ позволил провести следующую систематизацию известных и перспективных методов и технологий

усиления деревянных балок с использованием композитов:

- наклейка ткани из композитного полимера к поверхности деревянной конструкции, т.е. создание внешнего армирующего слоя, в том числе обоймы, либо наклейка на боковые грани опорных зон балки;

- создание многослойной клееной конструкции, чередующей слои древесины и композитной ткани (сетки) – внутреннее армирование;

- использование композитных арматурных стержней, укладываемых по траекториям главных растягивающих деформаций.

Экспериментальные исследования подтверждают, что армирование напряженных зон деревянных клееных балок повышает их несущую способность и жесткость. Например, данные, приведенные в [9] показывают, что при армировании 0,15% площади балки углеродным волокном, ее прочность возросла на 31,87 %, а при увеличении площади армирования до 0,42% – на 44,27 %. Армирование композитами позволяет надежно противостоять нагрузкам, испытываемым КДК.

Наиболее перспективным материалом для усиления деревянных балок можно считать углепластик – композитный материал с армирующей основой из углеродного (графитового) волокна. Полимер, так же как и дерево, ортогонально анизотропен, за счет армированных волокон имеет три взаимно перпендикулярные плоскости симметрии прочностных упругих свойств в каждой точке условно однородной сплошной среды.

Связующими для углепластика являются эпоксидные расплавы. Раньше

препреги (полуфабрикаты) углепластиков получали с применением растворной технологии, когда при формовании материала использовали полимерные связующие с высоким содержанием спирто-ацетонового растворителя. Это требовало специальных очистных установок для улавливания токсичных испарений. Современные углеродные тканые наполнители изготавливают автоклавным формованием материала из углеродных нитей, выпускаемых крупнейшими мировыми производителями, такими как Toray и Toho Tenax, что приводит к возрастанию упругопрочностных характеристик полимерных конструкционных материалов.

Свойства углепластика, учитываемые при использовании совместно с древесиной, формируются в зависимости от армирующей основы и технологии изготовления волокна. Исходными материалами при производстве углеволокна являются вискозные и акриловые волокна, а так же пеки и углеволокна, получаемые осаждением из газовой среды. Предельные величины модуля упругости для углеволокна могут достигать 690...960 ГПа, а предел прочности при растяжении – до 3445 МПа.

Пеки являются продуктами высокотемпературного распада, образующимися при перегонке сырой нефти, каменного угля, натурального асфальта и синтетических компаундов. Сначала получают низкомолекулярное волокно, а затем проводят его графитизацию под вытяжкой. Получение волокон с высокими характеристиками по этому методу требует значительных затрат времени на затверждение и поддержки высокотемпературных режимов при вытяжке. Однако технология позволяет вырабо-

тать углеволокно с пределом прочности на растяжение 2585 МПа и модулем упругости 480 ГПа. Углеволокно, в основе которого лежат пеки, отличается дешевизной в производстве, но при неполном технологическом цикле изготовления уступает по прочности акриловым волокнам. Самыми дорогими являются углеволокна из гидрата целлюлозы, что обусловлено применением на стадии графитизации дорогостоящей технологии вытяжки. Углеволокно, получаемое осаждением из газовой среды, характеризуется низкой ценой, но высокими прочностными характеристиками и имеет перспективы дальнейшего применения.

На полимерные композиты, эксплуатируемые на открытом воздухе в условиях промышленных предприятий, существенное отрицательное воздействие оказывают следующие факторы: влажность, солнечная радиация, циклическое изменение температуры и другие. Такие факторы являются активаторами старения композитных материалов. Увеличить скорость разрушения композитов может суммарное воздействие двух одномерно действующих факторов: атмосферного воздействия и длительной статической нагрузки.

### **Экспериментальные исследования и обсуждение результатов**

Физическая нелинейность и разносопротивляемость армированной деревянной балки оказывает значительное влияние на характеристики ее НДС. Это требует проведения экспериментальных исследований и всесторонних расчетов.

Авторами проводились исследова-

ния по усилению изгибаемых дощатоклееных балок с помощью тканевых материалов на основе углеродных волокон.

Для исследования были изготовлены дощатоклееные балки из сосновых досок 1 сорта следующих размеров:  $L = 120$  см,  $b = 6$  см,  $h = 12$  см. Балки состояли из отдельных досок толщиной  $t = 2$  см, склеенных между собой на эпоксидном клее марки ЭД-20. Были подготовлены несколько серий образцов:

1 серия - дощатоклееные балки, усиленные углеродной тканью толщиной 0,8 мм, наклеенной с растянутой стороны на всю нижнюю поверхность (рисунок 1, а);

2 серия – дощатоклееные балки, усиленные углеродной тканью толщиной 0,8 мм, наклеенной на часть длины растянутой зоны (рисунок 1, б);

3 серия – дощатоклееные балки с обратным выгибом (рисунок 1, в), усиленные углеродной тканью толщиной 0,8 мм, наклеенной на части нижней (растянутой) поверхности;

4 серия – обычные дощатоклееные балки без усиления.

Ткань приклеивалась при помощи эпоксидного клея ЭД20 на очищенную обезжиренную поверхность. Балки испытывались на действие равномерно распределенной нагрузки, опоры шарнирные.

По результатам исследований можно сделать следующие предварительные выводы:

- несущая способность первой серии образцов повысилась в среднем на 60 % относительно обычных дощатоклееных балок без усиления;

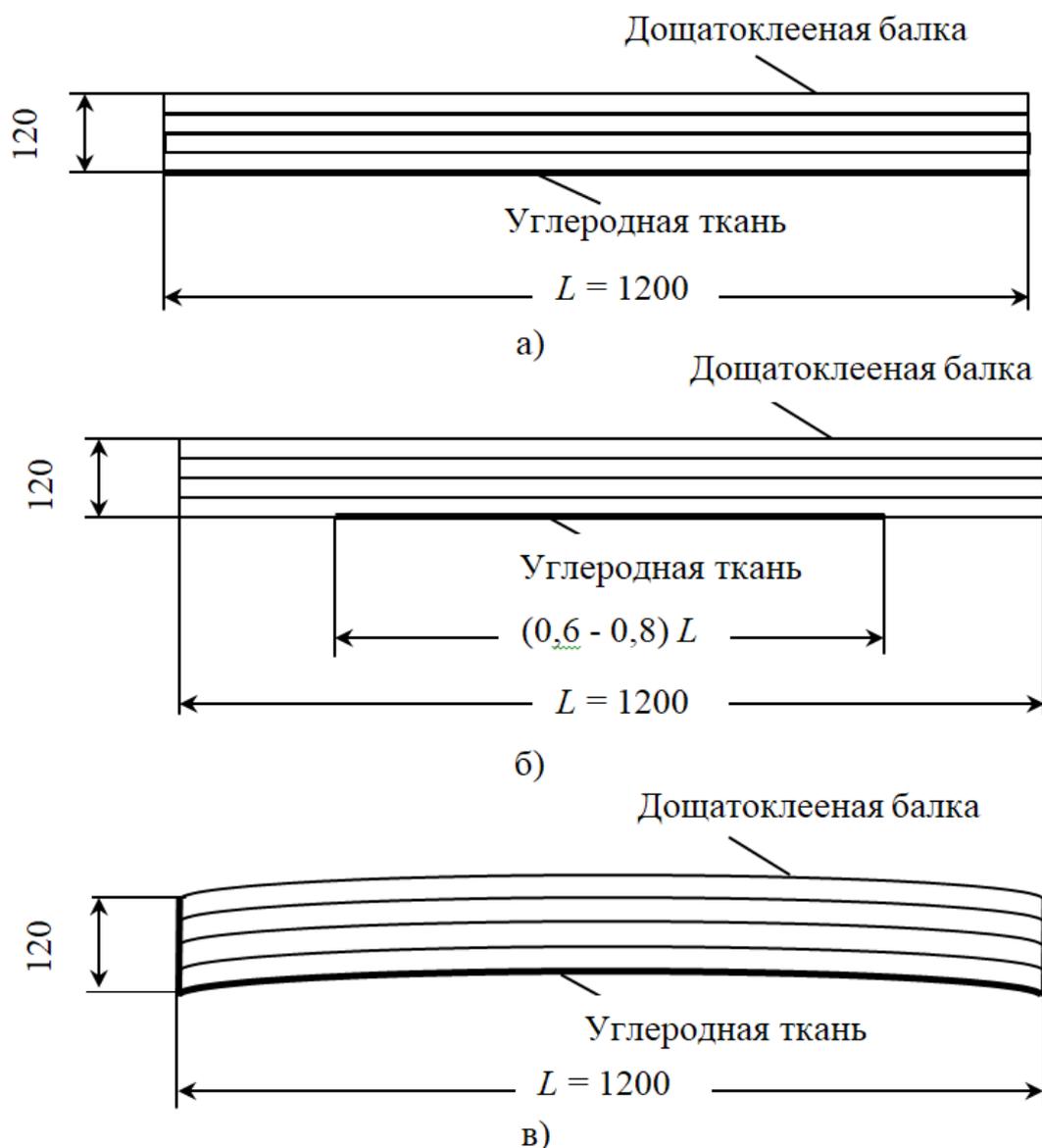


Рисунок – Варианты усиления доштоклееных балок: а – усиление по всей нижней поверхности; б – усиление на части длины нижней поверхности; в – усиление на части длины нижней поверхности изогнутого элемента

- несущая способность второй серии уменьшилась на 10-12 % по сравнению с первой серией образцов;
- несущая способность третьей серии образцов уменьшилась по сравне-

нию с первой серией образцов на 7-8 %.

В целом способ усиление доштоклееных балок тканью из углеродных волокон можно рассматривать как альтернативу традиционным способам.

#### Библиографический список

1. Рощина С.И., Сергеев М.С., Лукина А.В., Лисятников М.С. Исследование деревокомпозитных конструкций с применением эпоксидных олигомеров модифицированных углеродными нанотрубками // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 189-192.

2. Устарханов О.М., Юсупов А.К., Вишталов Р.И., Калиева М.Х. Пути повышения несущей способности дощатоклееных балок // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2007. № 13. С. 87-90.
3. Параничева Н. В., Назмеева Т.В., Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2. С.19-22.
4. Ahmad, Y. Ductility of Timber Beams Strengthened Using Fiber Reinforced Polymer / Y. Ahmad // Journal of Civil Engineering and Architecture. 2013. Vol. 7, №. 5. P. 535-544.
5. Левинский Ю.Б., Петряев Н.Е. Особенности напряженно-деформированного состояния клееных балок, армированных волокнистыми синтетическими материалами// Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. С. 199–206.
6. Петряев Н.Е., Левинский Ю.Б. Экспериментально-теоретическое обоснование эффективности дисперсионного армирования клееных деревянных балок // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 2 (14). С. 102–106.
7. Пятницкий А.А., Крутик С.А., Журенкова М.А. Возможности использования композиционных материалов на основе углепластика в деревянных конструкциях // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 241–245.
8. Серов Е.Н., Санников Ю.Д., Серов А.Е. Проектирование деревянных конструкций. - М.: Изд-во АСВ, 2015. - 536 с.
9. Устарханов О.М., Ирзаев Г.Г. Усиление дощатоклееной балки армированием растянутой зоны композитной арматурой // Неделя науки-2017: сборник материалов XXXVIII итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов Дагестанского государственного технического университета. Под редакцией Т.А. Исмаилова. – Махачкала: ДГТУ. 2017. С. 296-298.

### **References**

1. Roshchina S.I., Sergeev M.S., Lukina A.V., Lisyatnikov M.S. Issledovanie derevokompozitnykh konstrukcij s primeneniem epoksidnykh oligomerov modifitsirovannykh uglerodnymi nanotrubkami // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya. 2013. № 2. S. 189-192.
2. Ustarhanov O.M., YUsupov A.K., Vishtalov R.I., Kalieva M.H. Puti povysheniya nesushchej sposobnosti doshchatokleenykh balok // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2007. № 13. S. 87-90.
3. Paranicheva N. V., Nazmееva T.V., Usilenie stroitel'nykh konstrukcij s pomo-shch'yu uglerodnykh kompozitsionnykh materialov // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2010. № 2. S.19-22.
4. Ahmad, Y. Ductility of Timber Beams Strengthened Using Fiber Reinforced Polymer / Y. Ahmad // Journal of Civil Engineering and Architecture. 2013. Vol. 7, №. 5. P. 535-544.
5. Levinskij YU.B., Petryaev N.E. Osobennosti napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kleenykh balok, armirovannykh volokonnyimi sinteticheskimi materialami// Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. № 2. S. 199–206.
6. Petryaev N.E., Levinskij YU.B. Eksperimental'no-teoreticheskoe obosnovanie effektivnosti dispersionnogo armirovaniya kleenykh derevyannykh balok // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2012. № 2 (14). S. 102–106.
7. Pyatnickij A.A., Krutik S.A., Zhurenkova M.A. Vozmozhnosti ispol'zovaniya kompozitsionnykh materialov na osnove ugleplastika v derevyannykh konstrukciyah // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya. 2013. № 3. S. 241–245.

8. Serov E.N., Sannikov YU.D., Serov A.E. Proektirovanie derevyannyh konstrukcij. - M.: Izd-vo ASV, 2015. - 536 s.

9. Ustarhanov O.M., Irzaev G.G. Usilenie doshchatokleenoj balki armirovaniem rastyanutoj zony kompozitnoj armaturoj // Nedelya nauki-2017: sbornik materialov XXXVIII itogovoj nauchno-tehnicheskoy konferencii преподаvatelej, sotrudnikov, aspirantov i studentov Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Pod redakciej T.A. Ismailova. – Mahachkala: DGTU. 2017. S. 296-298.

*Статья поступила 14.07.2020 г.*

© Т.О. Устарханов, Г.Г. Ирзаев, Р.И. Вишталов, 2020

---

**Сведения об авторах**  
**List of Authors**

---

*Устарханов Т.О.* – ассистент кафедры строительных материалов и инженерных сетей Дагестанского государственного технического университета.

*Ustarkhanov T.O.* – Assistant of the Department of Building Materials and Engineering Networks, Daghestan State Technical University.

*Ирзаев Г.Г.* – ассистент кафедры строительных конструкций и гидротехнических сооружений Дагестанского государственного технического университета.

*Irzaev G.G.* – Assistant of the Department of Building Structures and Hydraulic Structures, Daghestan State Technical University.

*Вишталов Р.И.* – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и гидротехнических сооружений Дагестанского государственного технического университета.

*Vishtalov R.I.* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures and Hydraulic Structures, Daghestan State Technical University.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ РАЗВЕДОЧНЫМИ ТОЧКАМИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЧИВОСТИ МОЩНОСТЕЙ СЛОЕВ

М.О. Аллаев

Дагестанский государственный технический университет

Махачкала

mazhid.allaev@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена разработке методики оптимального планирования инженерно-геологических изысканий при определении несущей способности сваи в слоистой толще. Сущность методики заключается в определении количества выработок и проб в пределах каждого слоя, принимая модель случайных величин, и в их пространственном размещении, учитывая влияние изменчивости мощностей слоёв основания на точность определения обобщенного (нормативного) значения предельного сопротивления сваи. Изменчивость мощностей слоев устанавливается сравнением фактической границы слоев, проведенная по результатам бурения, с природной границей. Изменение мощностей слоев между разведочными точками рассматривается как линейное, изменение природной границы принято по закону, описываемому полиномом второй степени. Получено выражение для определения расстояния между разведочными точками, которое зависит от сопротивления грунтов смежных слоев на боковой поверхности сваи и величины отклонения формы природной границы от линейной.

**Ключевые слова:** бурение, оптимизация, модель случайных величин, забивная свая, мощность слоёв, предельное сопротивление сваи, скважина, дисперсия, стандарт, изменчивость, грунты.

**Abstract.** The Article is dedicated to development of the methods of the optimum planning engineering-geological prospecting at determination carrying abilities to piles in flaky thick mass. Essence of the methods is concluded in determination amount productions and tests within each layer, accepting model of the random quantities, and in their spatial accommodation, considering influence to variability of the powers layer basis on accuracy of the determination generalized (normative) of importance of the limiting resistance to piles. Variability of the powers of the layers is fixed by comparison of the actual border of the layers, called on result of the boring, with natural border. Change the powers of the layers between exploratory point is considered as linear, change the natural border is accepted under the law, described by multinomial second degree. Expression is Received for range sensing between exploratory point, which depends on resistances soil adjacent layers on lateral surface of the piles and values of the deflection of the form of the natural border from linear.

**Keywords:** *boring, optimization, model of the random quantities, забивная pile, power layer, limiting resistance to piles, bore hole, dispersion, standard, variability, soils.*

### **Введение**

При инженерно-геологических изысканиях слоистых толщ особого рассмотрения требует вопрос о размещении точек опробования пределах отдельных инженерно-геологических элементов, так как от правильного решения этого вопроса зависит точность и достоверность решения инженерных задач. В связи с этим возникает необходимость поиска пути оптимального планирования инженерно-геологического опробования слоистых сред.

При расчетах оснований, представленных слоистыми толщами, в качестве модели для результатов наблюдения за показателями свойств принимается модель случайных величин, и основание рассматривается как среда с постоянными средними значениями и дисперсиями характеристик основания в пределах каждого инженерно-геологического элемента. Как показывают результаты решения задач по оптимальному распределению точек опробования в исследуемой толще, принятие за основу этой модели позволяет установить количество выработок и проб в пределах каждого слоя, а вопрос об их пространственном размещении, т. е. определение расстояния между ними остаются открытым. Это обстоятельство определяет необходимость учета изменчивости других параметров исследуемой толщи, которые входят в расчетные соотношения решаемых инженерных задач.

В данной статье разрабатывается методика оптимизации инженерно-

геологических изысканий при определении несущей способности забивной сваи в слоистой толще. Сущность методики заключается в определении количества выработок и проб в пределах каждого слоя, принимая модель случайных величин, и в их пространственном размещении, учитывая изменчивость мощностей слоёв основания.

### **Постановка задачи**

При определении несущей способности сваи в слоистой толще предельное сопротивление считается в пределах каждого элемента постоянным и в качестве модели интерпретации результатов наблюдений принимается модель независимых случайных величин [1]. Принятие модели независимых случайных величин позволяет количественно оценить число разведочных точек, но не даёт возможности установить расстояния между этими точками [2, 3]. Для решения задачи о пространственном расположении выработок в данной работе дополнительно учитывается ещё изменчивость мощностей слоёв основания.

Если при этом мощности слоев изменяются случайно в пределах определяющей области сооружения с постоянными средними значениями, то количество выработок также можно определить, исходя из их изменчивости, и разместить их по одной из применяемых на практике способов опробования, в частности, с постоянным шагом в пределах каждого инженерно-геологического элемента.

Дело в том, что объективно о положении границ слоев можно судить лишь в разведанных точках. Об изменениях мощностей слоев можно иметь качественную информацию. Поэтому изменение мощностей слоев между разведочными точками следует рассматривать как линейное. При этом фактически проведенная по результатам бурения граница слоя может случайно совпасть с природной или же иметь определенные отклонения от него.

### Методика решения

Пусть фактически проведенная граница между слоями не совпадает с природной границей и реальные неслучайные изменения мощностей слоев в направлении оси  $x$  описываются при помощи функции  $h_j = z(x_j, c_0, c_1, \dots, c_k)$ . Будем считать, природная граница изменяется по закону, описываемому полиномом третьей степени. В качестве модели результатов наблюдений за мощностями слоев будем иметь модель тренда

$$h_j = z(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + \delta, \quad (1)$$

где  $j$ - номер разведочной точки;  $c_j$  – параметры функции;  $x$ - координата по простиранию;  $\delta$ - случайные отклонения с математическим ожиданием, равным нулю и дисперсией  $\sigma^2$ .

Разложим функцию  $z(x)$  в ряд Тейлора в окрестности точки  $x_i$  и сохраним в разложении члены не выше второго порядка

$$h_j = c_0 + c_1x_j + c_2x_j^2 + c_3x_j^3 + (c_1 + 2c_2x_j + 3c_3x_j^2)(x - x_j) + (2c_2 + 6c_3x_j)(x - x_j)^2 \quad (2)$$

Уравнение фактически проводимой прямолинейной границы, проходящий через точки фиксации положений контактов слоев, будет иметь вид

где  $(\beta - \alpha) = l$  – расстояние между рассматриваемыми выработками.

В случае принятия модели результатов наблюдений за мощностями слоев, описываемому полиномом третьей степени уравнение будет иметь вид

$$h(x) = z(x) + \frac{z(\beta) - z(\alpha)}{\beta - \alpha}(x - x_j) \quad (3)$$

$$h(x) = c_0 + c_1x_j + c_2x_j^2 + c_3x_j^3 + (c_1 + c_2(\alpha + \beta) + c_3(\alpha^2 + \alpha\beta + \beta^2))(x - x_j) \quad (4)$$

где  $(\beta - \alpha) = l$  - расстояние между разведочными точками.

При этом дисперсия, обусловленная случайными отклонениями фактически проводимой границы от природной при принятии полинома третьей степени, определится из соотношения

Будем считать, что разведочные точки в направлении  $x$  при фиксированных размерах исследуемой области расположены случайно. Тогда  $x$  можно рассматривать как равномерно распре-

$$D(h_j) = \frac{1}{\beta - \alpha} \int_{\alpha}^{\beta} (c_1x_j + c_2x_j^2 + c_3x_j^3 + (c_1 + 2c_2x_j + 3c_3x_j^2)(x - x_j) + (2c_2 + 6c_3x_j)(x - x_j)^2 - c_1x_j - c_2x_j^2 - c_3x_j^3 - (c_1 + c_2(\alpha + \beta) + c_3(\alpha^2 + \alpha\beta + \beta^2))(x - x_j))^2 dx \quad (5)$$

В результате интегрирования получаем:

$$D(h_j) = \frac{(\beta - \alpha)^4}{6} \left[ \frac{1}{5}(c_2 + \frac{3}{2}c_3(\alpha + \beta))^2 + \frac{1}{32}c_3(\beta - \alpha)^2 \right] \quad (6)$$

На рисунке 1 представлены графики зависимости стандарта  $\sigma(h)$  от расстояния при различных значениях коэффициентов  $c_2$  и  $c_3$ . При принятии в качестве функции изменения природной

границы полинома второй степени будем иметь дисперсия мощностей слоев

$$D(h) = \frac{c_2^2(\beta - \alpha)^4}{30} \quad (7)$$

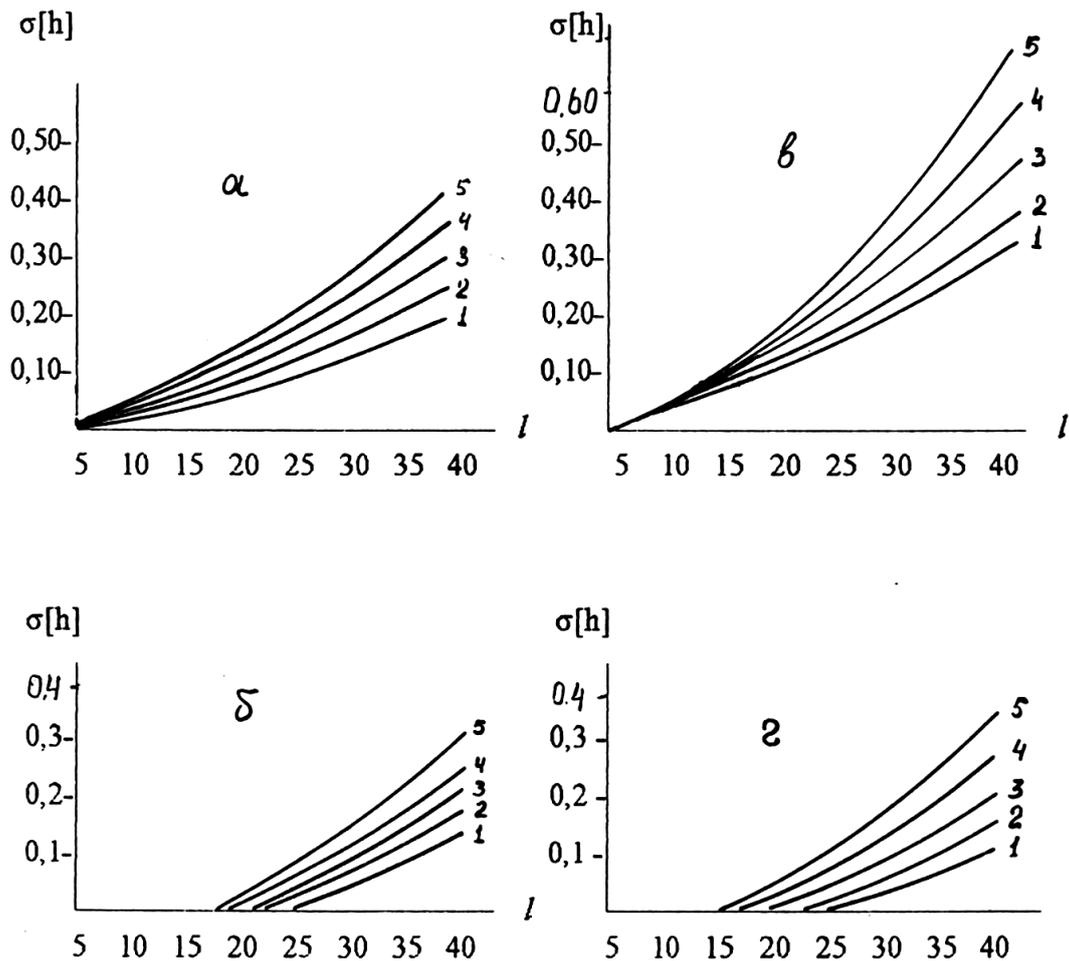


Рисунок 1 – Графики зависимости стандарта, обусловленного изменчивостью мощностей слоя, от расстояния между выработками

а - при  $c_2=5 \cdot 10^{-4}$ ; б - при  $c_2=0.5 \cdot 10^{-4}$ ; в - при  $c_2=10 \cdot 10^{-4}$ ; г - при  $c_2=1 \cdot 10^{-4}$ .

1 - при  $c_3=1 \cdot 10^{-6}$ ; 2 - при  $c_3=3 \cdot 10^{-6}$ ; 3 - при  $c_3=5 \cdot 10^{-6}$ ; 4 - при  $c_3=8 \cdot 10^{-6}$ ; 5 - при  $c_3=10 \cdot 10^{-6}$ .

Как видно, влияние коэффициента  $c_3$  на  $\sigma(h)$  сказывается, начиная с определенной величины  $l$ . Это свидетельствует о том, что при плотной сети разведки не имеет смысла усложнять ап-

проксирующую функцию, достаточно ограничиться полиномом второй степени.

Теперь рассмотрим, как изменение мощностей слоев сказывается на точ-

ность определения обобщенного (нормативного) значения предельного сопротивления сваи и с учетом этого влияния установим допустимые расстояния

$$F_{un} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m F_{uj} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left( R_{sj} A + u \sum_{i=1}^n h_{ij}(z) (f_{j,i} - f_{j,i+1}) \right) \quad (8)$$

где  $h_{ij}(z)$  - расстояния от верхней точки формирования  $F_u$  (например, от дна котлована) за счет сопротивления грунта на боковой поверхности сваи до границы  $i$ -го слоя в  $j$ -ой точке;  $m$  - количество разведочных точек.

Здесь необходимо иметь в виду, что

$$D(F_{un}) = \frac{1}{m^2} \sum_{j=1}^m u^2 \sum_{i=1}^n h_{ij}(z) (f_{j,i} - f_{j,i+1})^2 D(h_{ji}), \quad (9)$$

где  $D(h_{ji})$  - дисперсия  $h_{ji}(z)$ , рассчитываемая из соотношения (5) или (6).

Будем считать, что размеры исследуемой области при оценке нормативного значения предельного сопротивления  $F_{un}$  фиксированы, т.е.

$$L = \sum_{i=1}^n l_i \quad (10)$$

Если в выражении (9) вместо дисперсии  $D(h_{ji})$  подставить ее выражение из (6), то не удастся аналитически

$$D(F_{un}) = \frac{1}{m^2} \sum_{j=1}^m u^2 \sum_{i=1}^n (f_{i,j} - f_{i+1,j})^2 \frac{c_{2i}^2 l_{ij}^4}{30}, \quad (11)$$

Теперь задача состоит в определении  $l_{ij}$ , обеспечивающих минимум дисперсии (11) при условии (10). Для

$$F_{un} = \frac{1}{m^2} \sum_{j=1}^m u^2 \sum_{i=1}^n (f_{i,j} - f_{i+1,j})^2 \frac{c_{2i}^2 l_{ij}^4}{30} + \lambda \left( \sum_{i=1}^n l_i - L \right) \quad (12)$$

Частная производная функции (12) по  $l_{ij}$  равна

$$\frac{2u^2}{15m^2} (f_{i,j} - f_{i+1,j})^2 c_{2i}^2 l_{ij}^3 + \lambda = 0 \quad (13)$$

между разведочными точками.

Нормативное значение предельного сопротивления сваи в исследуемой толще равно

при количестве слоев  $i = n$  значение  $f_{j,i+1} = 0$

Дисперсия нормативного значения предельного сопротивления сваи, обусловленная изменением мощностей слоев, определится из выражения

определить  $l_i$ . Кроме того, вряд ли целесообразно при ограниченной априорной информации использовать здесь полиномы высоких степеней.

Поэтому в дальнейшем ограничимся рассмотрением в качестве функции изменения мощностей слоев полинома второй степени. При этом с учетом (10) дисперсия  $D(F_{un})$  определится из выражения

этого составим вспомогательную функцию

Откуда находим

$$l_{ij} = - \frac{\sqrt[3]{\lambda}}{\sqrt[3]{\frac{2u^2}{15m^2} (f_{i,j} - f_{i+1,j})^2 c_{2i}^2}} \quad (14)$$

Подставим в (13) вместо  $l_{ij}$  их выражение (14) и определим

$$\sqrt[3]{\lambda} = - \frac{L}{\sqrt[3]{\frac{2u^2}{15m^2} (f_{i,j} - f_{i+1,j})^2 c_{2i}^2}} \quad (15)$$

$$l_{ij} = - \frac{L}{\sqrt[3]{(f_{i,j} - f_{i+1,j})^2 c_{2i}^2} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sqrt[3]{\frac{1}{(f_{i,j} - f_{i+1,j})^2 c_{2i}^2}}} \quad (16)$$

Как видно, расстояние между разведочными точками должна быть тем меньше, чем больше различаются сопротивления грунтов смежных слоев на боковой поверхности сваи и чем больше отклоняется форма природной границы от линейной.

С учетом (15) выражение для расчета допустимых расстояний между выработками принимает вид

Рассмотрим пример определения оптимальных расстояний между разведочными точками с учетом изменчивости мощности слоев для инженерно-геологических условий, приведенных на рисунке 2. На этом же рисунке показано направление осей координат ( $h, x$ ).

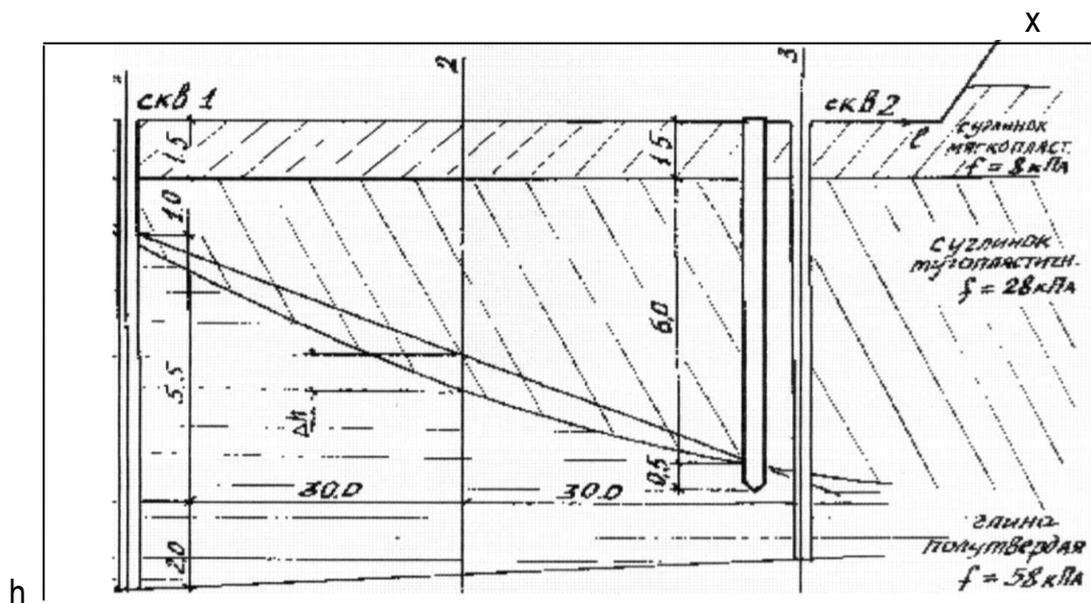


Рисунок 2 – Инженерно-геологический разрез с показом разных очертаний границ между слоями: а) линейное очертание; б) природное очертание в виде полинома второй степени

По инженерно-геологическому разрезу видно, что резко меняется мощность только второго слоя (грунты – суглинки тугопластичные) от 1 до 6 м и поэтому на назначение расстояния между выработками, в основном, будет влиять изменчивость мощности этого слоя.

Расстояние между скважинами определим, учитывая изменчивость мощности только второго слоя по формуле:

$$l_i = \sqrt[4]{\frac{30D[F_u]}{\sqrt[3]{c_{2i}^2 (f_1 - f_2)^2 K_i^2}}}$$

Как видно на величину  $l_i$  влияет

только один из параметров полинома  $c_{21}$ . Коэффициенты  $K_0 = K_3 = 0$ ,  $K_2 = 1$

Параметр  $c_{21}$  определим из решения системы уравнений:

$$h_1 = c_1 x_1 + c_2 x_2^2$$

$$h_2 = c_2 x_2 + c_2 x_2^2$$

где  $(h_1, x_1)$  и  $(h_2, x_2)$  координаты, показанные на рисунке 2.

Для значений  $h_1 = 1\text{ м}$ ;  $x_1 = 20$ ;  $h_2 = 3,5\text{ м}$ ;  $x_2 = 50$  параметр  $c_2 = 6,6 \cdot 10^{-4}$ .

Удельные сопротивления грунтов по боковой поверхности сваи во 2-ом слое  $f_2 = 28$  кПа, в 3-ем слое  $f_3 = 58$  кПа. Несущая способность сваи рассчитывается по известной формуле [4].

Путем построения доверительного интервала для среднего значения  $F_u$ ,

задавшись 5% погрешностью её определения, что составляет  $\Delta F_u = 0,05 \cdot 350 = 17\text{ кН}$ , определим допустимую величину дисперсии:

$$D[F_u] = 1,5 (\Delta F_u)^2 = 1,5 \cdot 17^2 = 324,$$

и далее определяем расстояние между двумя скважинами

$$l = \sqrt[4]{\frac{30 \cdot 324}{(6,6 \cdot 10^{-4})^2 \cdot (28 - 58)^2 \cdot 1}} = 60\text{ м}$$

Варьируя изменчивостью мощности 2-го слоя в сечении 2-2 и погрешностями определения  $\Delta F_u$  можно построить систему графиков зависимости  $l = f(h_{cp})$  для упрощения расчетов при других параметрах, как показано на рисунке 3.

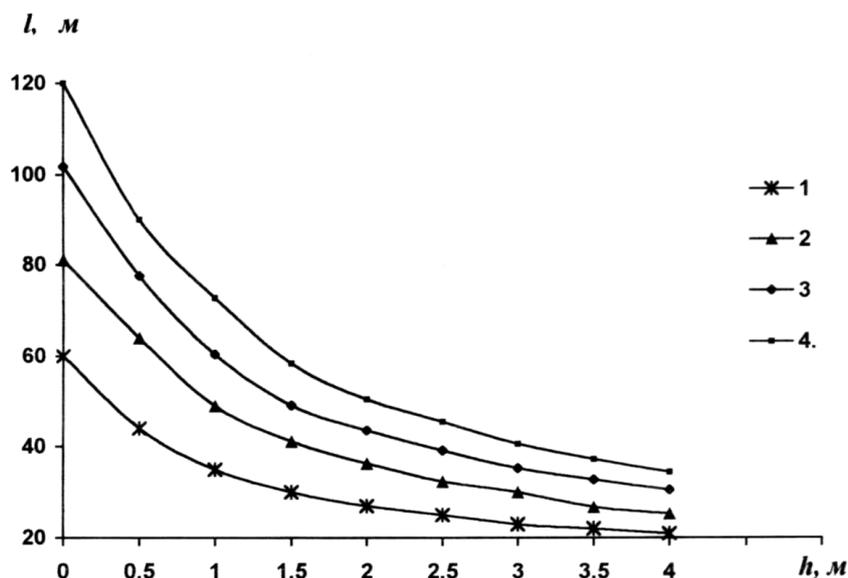


Рисунок 3 – Графики зависимости расстояний между скважинами от изменчивости мощности слоев и погрешности определения несущей способности свай  $\Delta F_u$ : 1 - при  $\Delta F_u = 10$  кН; 2 - при  $\Delta F_u = 20$  кН; 3 - при  $\Delta F_u = 30$  кН; 4 - при  $\Delta F_u = 40$  кН.

### Заключение

Инженерно-геологические изыскания для зданий со свайным фундаментом из забивных свай проводятся с целью определения несущей способности свай.

При решении задачи о простран-

ственном размещении скважин необходимо учитывать влияние изменчивости мощностей слоёв основания на точность определения обобщенного (нормативного) значения предельного сопротивления сваи.

В слоистой толще расстояние меж-

ду скважинами должно быть тем меньше, чем больше различаются сопротивления грунтов смежных слоев на боковой поверхности сваи и чем больше отклоняется форма природной границы от линейной.

### **Библиографический список**

1. Разработка методики назначения состава и объема исследований грунтов для строительства свайных фундаментов: отчет о госбюджетной НИР / Даг. гос. техн. ун-т; рук. Аллаев М.О. – Махачкала, 1990. – 160 с. Инв. № 232.
2. Загиров Ш.Ш. К обоснованию количества статистических зондирований при проектировании свайных фундаментов // Инженерная геология. 1988. № 4. С.118-123.
3. Загиров Ш.Ш. Оптимизация инженерно-геологических изысканий. – М.: Изд. ВЗПИ, 1990. - 346 с.
4. Загиров Ш.Ш., Аллаев М.О. О точности определения несущей способности свай различными методами // Сборник трудов института геологии ДагФАН СССР.1989. Вып. 35. С. 24-26.

### **References**

1. Razrabotka metodiki naznacheniya sostava i ob"ema issledovaniy gruntov dlya stroitel'stva svajnyh fundamentov: otchet o gosbyudzhetnoj NIR / Dag. gos. tekhn. un-t; ruk. Allaev M.O. – Mahachkala, 1990. – 160 s. Inv. № 232.
2. Zagirov SH.SH. K obosnovaniyu kolichestva statisticheskikh zondirovaniy pri proektirovani svajnyh fundamentov // Inzhenernaya geologiya. 1988. № 4. S.118-123.
3. Zagirov SH.SH. Optimizaciya inzhenerno-geologicheskikh izyskanij. – M.: Izd. VZPI, 1990. - 346 s.
4. Zagirov SH.SH., Allaev M.O. O tochnosti opredeleniya nesushchej sposobnosti svaj razlichnymi metodami // Sbornik trudov instituta geologii DagFAN SSSR.1989. Vyp. 35. S. 24-26.

*Статья поступила 18.07.2020 г.  
© М.О. Аллаев, 2020*

---

### **Сведения об авторах List of Authors**

---

*Аллаев М.О.* – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог, оснований и фундаментов Дагестанского государственного технического университета  
*Allaev M.O.* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Highways, Foundations and Foundations, Dagestan State Technical University.

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ НИЗКОНАПОРНЫХ КОНСОЛЬНЫХ ВОДОСБРОСОВ

*А.К. Алибеков, Р.М. Алиев, А.М. Мухучев, Э.Т. Эмирбеков*

*Дагестанский государственный технический университет  
Махачкала  
ali.dgtu@rambler.ru*

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы поиска оптимальной длины консоли и стоимости водосбросов с трубчатой и открытыми транзитными частями. Проанализированы недостатки типового проектирования. Установлены факторы, влияющие на искомые функции. Разработан пакет прикладных программ для автоматизированного выполнения расчетов по определению размеров составных частей и объемов материала по возведению консольных водосбросов. По результатам численного эксперимента на ЭВМ предложены практические рекомендации проектирования консольных водосбросов.

**Ключевые слова:** консоль, водосброс, водоскат, воронка размыва, дальность полета струи, автоматизированное проектирование.

**Abstract.** The issues of finding the optimal length of the console and the cost of spillways with tubular and open transit parts are considered. The drawbacks of typical design are analyzed. The factors influencing the desired functions have been established. A package of applied programs has been developed for the automated execution of calculations to determine the sizes of components and volumes of material for the construction of cantilever spillways. Based on the results of a numerical experiment on a computer, practical recommendations for the design of cantilever spillways are proposed.

**Keywords:** console, spillway, water slide, washout funnel, jet range, computer-aided design.

### **Введение**

В практике водохозяйственного и дорожного строительства для защиты от размыва водным потоком грунта прилегающих склонов косоголов, русел у мостовых переходов и труб-переездов, в других случаях предусматривают сопрягающие сооружения в виде быстротоков,

перепадов, консольных водосбросов и т.д. [1]. Конкретный вид гидротехнического сооружения принимается на основе технико-экономического сравнения вариантов и с учетом условий местности. Как показывает практика проектирования подобных сооружений, дешевле обходятся консольные водосбросы из-за меньшей

стоимости крепления нижнего бьефа. По опыту эксплуатации сооружений размыв русла в подавляющем числе случаев начинается с нижнего бьефа в силу больших скоростей сбрасываемой воды, значительно превышающих неразмывающие скорости потока [2].

Цель настоящей работы заключается в оценке стоимости возведения низконапорных консольных водосбросов и оптимальной длины консоли на основе выполнения расчетов по разработанной прикладной программе на ЭВМ.

### ***Анализ проблемы и разработка программы автоматизации проектирования низконапорных консольных водосбросов***

Отметим, что на сегодня отсутствуют исчерпывающие рекомендации для проектировщика экономических консольных водосбросов по следующим причинам. Во-первых, воронку размыва за водосбросом нельзя подпускать на близкое расстояние к водоскату для сохранения устойчивости откоса, на котором находится транзитная часть – лоток быстротока. Во-вторых, устойчивость грунтового откоса и параметры водосброса зависят от множества факторов и для поиска оптимального варианта и выработки общих рекомендаций нужно рассчитать большое число вариантов, диктуемых различными значениями определяющих факторов. В-третьих, даже типовое проектирование (рисунок 1), несмотря на определенные преимущества, нельзя считать оптимальным решением по следующим соображениям:

а) размеры типовых сооружений рассчитаны на определенный расход,

например, до 12 м<sup>3</sup>/с, тогда при меньших расходах эти размеры велики, а при больших расходах, например, 15 м<sup>3</sup>/с, приходится принять еще один водосброс, что экономически нецелесообразно;

б) в типовом проекте приняты только одни типы входной, сопрягающей и выходной частей без рассмотрения комбинаций этих частей;

в) в типовых проектах не учтен ряд факторов (кривая связи расходов и глубин нижнего бьефа, определяющая стоимость крепления нижнего бьефа, диапазон изменения напора на входе  $H$ , от которого зависят размеры входной и сопрягающей частей сооружения, крупность материала отводящего русла и др.);

г) поскольку в условиях рыночной экономики цены на материалы и работы зависят от региона, сезона, технологии производства работ, наличия подъездных путей, дальности до объекта строительства и многих других факторов, то экономические в одних условиях решения нельзя распространять на все регионы или в данном регионе на все объекты, а используя в расчетах хотя бы элементы САПР можно оперативно учесть текущие региональные расценки. Из сказанного можно сделать вывод: типовое проектирование, эффективное в определенный период развития человечества, в настоящее время должно уступить место типовому программированию (цифровой экономике): по одной и той же программе для ЭВМ можно рассчитать множество водосбросов при конкретных значениях определяющих параметров. С другой стороны, охват множества типов и

конструкций водосбросов с соответствующим количеством расчетов и анализом результатов по разным вариантам и при разных уровнях варьирования факторов – эта задача многофакторная.

Такой большой объем работы в рамках одной работы трудно реализо-

вать, даже если использовать возможности ЭВМ. Поэтому на основе анализа существующих типов и конструкций водосбросных сооружений для исследования выбраны наиболее часто встречающиеся типы водосбросов:

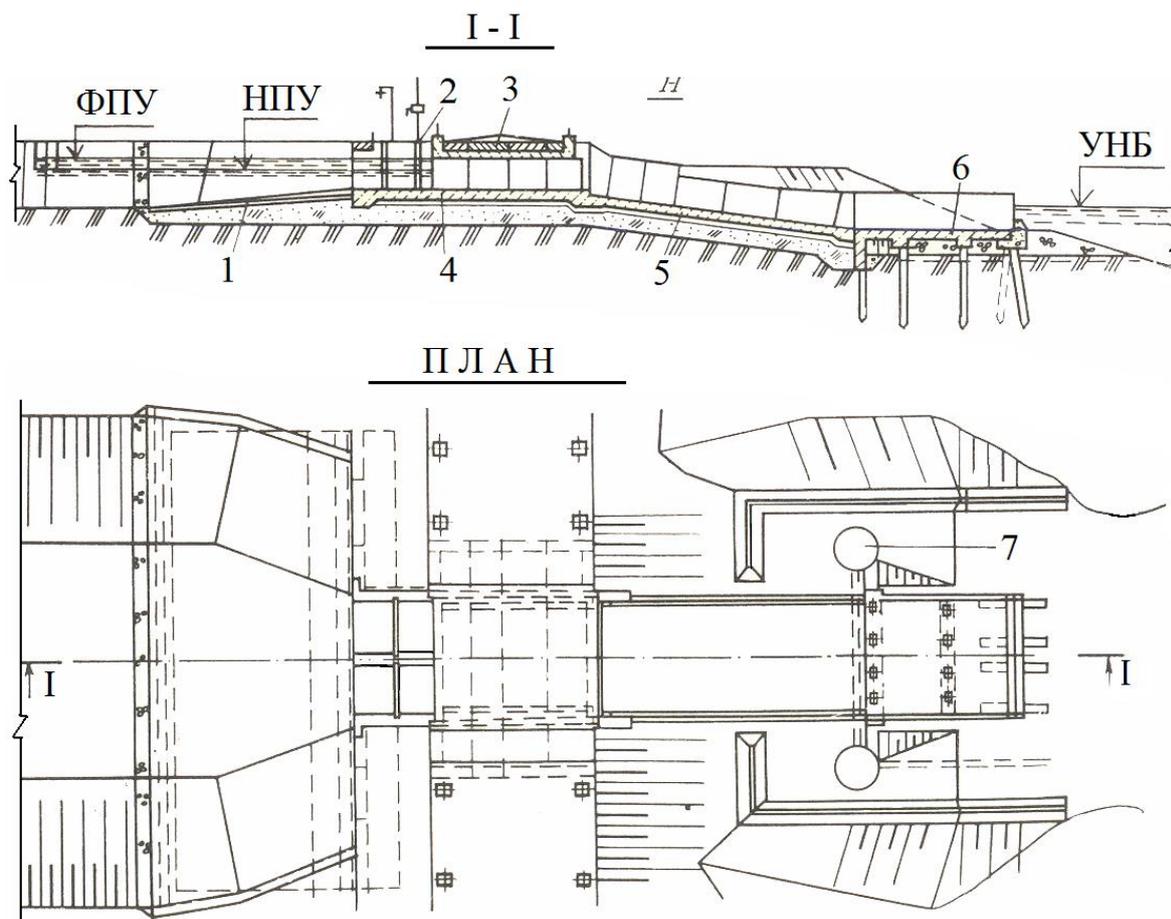


Рисунок 1 - Регулируемый открытый водосброс на грунтовом основании конструкции Ленгипроводхоза: 1 - входная часть; 2 - затвор; 3 – трубчатый переезд; 4 - головная часть подосброса; 5 – быстоток; 6 - концевая часть; 7 – дренажный колодец

открытый быстоток и трубопровод с консольным отбросом струи и гашением энергии потока в воронке местного размыва (рисунок 2).

С целью поиска оптимальной (минимальной) длины консоли для отброса струи предварительно установлены перечень определяющих факторов, расчетных зависимостей для

определения размеров входной, транзитной частей водосброса, дальности отброса струи с консоли, параметров воронки местного размыва и устойчивости откоса. Далее разработана прикладная программа для выполнения расчетов на ЭВМ и определены геометрические размеры и объемам

работ по возведению отдельных частей водосброса.

Факторами, определяющими размеры и стоимость сооружения, являются: расход  $Q$ , глубина потока у входа в сооружение – напор  $H$ , скорость подхода потока к водосбросу  $v_0$ , перепад уровней  $z$ , естественный уклон  $i_1$  и вид грунта откоса, на котором

располагается транзитная часть быстротока, уклон дна отводящего русла  $i_2$ , тип и конструктивные особенности входной, сопрягающей и консольной частей и материал отводящего русла (диаметр частиц грунта  $d_f$ ).

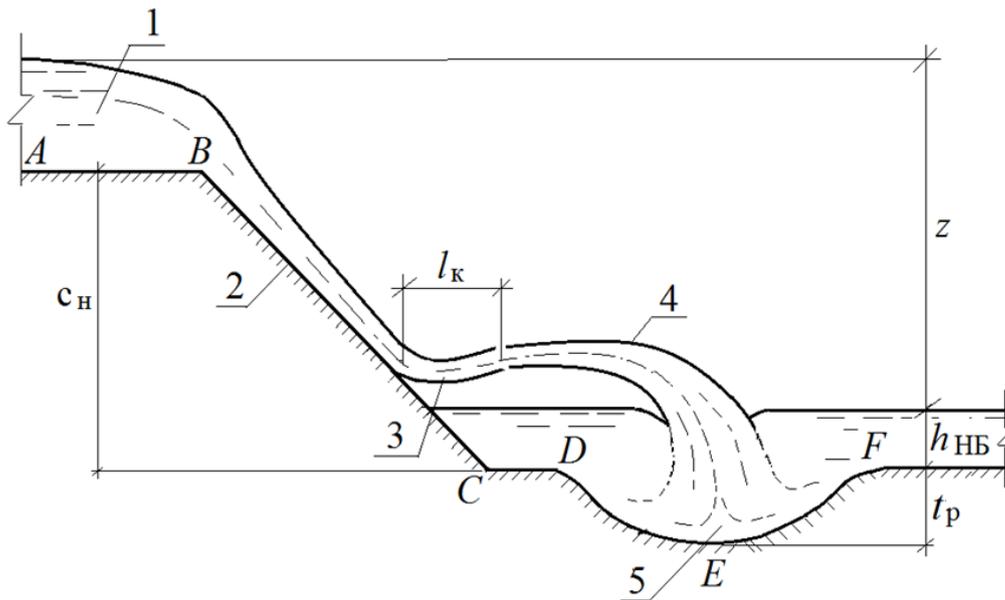


Рисунок 2 – Схема низконапорного водосброса: 1 – входная часть, 2 – откос, 3 – консоль, 4 – струя, 5 – воронка местного размыва

На основе анализа существующих проектных решений водосбросных сооружений диапазоны изменения указанных факторов приняты следующими:  $Q$  – до  $50 \text{ м}^3/\text{с}$ , напор  $H$  – до  $2,4 \text{ м}$ , скорость подхода потока к водосбросу  $v_0$  – до  $4 \text{ м/с}$ , перепад уровней  $z$  – до  $15 \text{ м}$ , уклон транзитной части  $i_1$  – от  $0,05$  до  $0,30$  (при больших уклонах для открытых водосбросов рекомендуется устройство ступенчатых перепадов), уклон отводящего русла - нижнего бьефа  $i_2$  - от  $0,0002$  до  $0,01$ , в качестве основания нижнего бьефа – характерные для нижних бьефов

несвязные крупнозернистые грунты диаметром частиц  $d_f$  от  $1$  до  $10 \text{ мм}$ , тип входной части – с обратными стенками, в качестве сопрягающих частей – водоскат (быстроток), в качестве выходной части – консольный сброс. Размеры отводящего русла за сооружением приняты равными размерам подводящего участка перед водосбросом.

Таким образом, зависимость стоимости исследуемого низконапорного водосбросного сооружения и длины консоли водосброса от

определяющих факторов будет иметь вид:

$$c, l_k = f(Q, H, v_0, z, i_1, \text{вид грунта откоса}, i_2, d_r). \quad (1)$$

Для охвата области определения многомерной функции (1) использованы рекомендации теории планирования эксперимента [7] приняты определенные допущения и упрощения. Во-первых, ограничено количество расчетных случаев до практически мыслимой величины. Во-вторых, рассмотрены самые значимые факторы, основываясь на исследованиях других авторов. В-третьих, число уровней изменения факторов принято больше трех для возможности построения графических зависимостей для искомой длины консоли 1.

Входная часть открытого водосброса представляет собой, как правило, неподтопленный водослив

практического профиля или водослив с широким порогом с напором на входе  $H$ . Основная задача входной части заключается в обеспечении плавного подхода потока к сооружению и сопряжение с подводным участком. В данной работе конструктивное решение сопряжения входной части с подводным руслом выполнено с помощью обратной стенки, которое оказалось экономичным по результатам ранее проведенных исследований.

Цель гидравлического расчета входной части заключалась в определении ширины входной части и водоската  $b$  из формулы для неподтопленного водослива с широким порогом [3, 8]:

$$Q = m_e \sqrt{2g} (H + \alpha v_0^2 / 2g)^{3/2} b (1 - 0,2 \xi H_0 / b) \quad (2)$$

где  $m_e$  – коэффициент расхода водослива;  $\alpha$  – коэффициент кинетической энергии;  $\xi$  – коэффициент формы устоев;  $H_0$  – полный напор на пороге,  $H_0 = H + \alpha v_0^2 / 2g$ .

Входными параметрами разработанной прикладной программы расчета входной части явились:  $Q$ ,  $H$ , конструктивные особенности сопряжения подводного участка с сооружением. Искомая ширина  $b$  из (2) найдена методом последовательных итераций (конечный результат округляется в большую сторону до стандартного значения). Превышение устоев над расчетным уровнем воды назначим в соответствии с [9].

Гидравлический расчет транзитной части сооружения (водоската) выполнен в соответствии с [4 - 6] и заключался в определении положения кривой свободной поверхности воды на водоскате. Ширина лотка водоската принята равной ширине входной части  $b$ . Исходные данные для расчета водоската:  $b$ ,  $Q$ , уклон местности  $i_1$ , перепад уровней  $z$  или протяженность участка сопряжения  $l_m = z / i_1$ , коэффициент шероховатости  $n$ , коэффициент заложения откосов  $m_1$  (для прямоугольного сечения  $m_1 = 0$ ), тип грунта основания.

Выходные данные выполнения расчетов на ЭВМ: значения критической и нормальной глубин, удельный расход,



Исходными данными для их определения являются: средняя скорость в створе уступа  $v_1$ , угол наклона струи к горизонту  $\alpha_1$ , перепад уровней  $z$ , расход  $Q$ , ширина выходного сечения водосброса  $b$ , глубина в нижнем бьефе  $h_n$ , высота уступа над

уровнем нижнего бьефа  $y_1$ , крупность частиц грунта или материала крепления русла  $d_{гр}$  и соответствующая неразмывающая скорость  $v_{доп}$  [9], коэффициент заложения откосов воронки  $m$ , длина консоли  $l_k$ .

Дальность отлета струи

$$x_{отл} = k_a (v_1^2 \cos \alpha_1) \cdot (\sin \alpha_1 + \sqrt{\sin^2 \alpha_1 + 2gy_1 / v_1^2}) / g, \quad (3)$$

где  $k_a$  – коэффициент уменьшения дальности полета струи в силу аэрации потока и распада струи,

Величина угла входа струи в поток (в воронку)

$$\alpha_{вх} = \arctg \sqrt{tg \alpha_1 - 2gy_1 / (v_1^2 \cos^2 \alpha_1)}, \quad (4)$$

Скорость входа струи под уровень

$$v_{вх} = \varphi \sqrt{2gz}, \quad (5)$$

где  $\varphi$  – коэффициент скорости,  $\varphi = 0,95 - 0,98$ .

Величина растекания струи в воронке

$$L = 1,41q \cdot \lg(v_{вх} / (1,05v_{доп})), \quad (6)$$

где  $v_{доп}$  – неразмывающая (допускаемая) скорость, зависящая от рода грунта и глубины потока.

Глубина воронки местного размыва по формуле М.С. Вызго

$$t_p = AK_p(q((y_1 + v_1^2/(2g))^{0,5})^{0,5}), \quad (7)$$

где  $A$  – коэффициент аэрации,  $A = 0,776 + 0,281h_1 - 0,013v_1$ ,  $h_1$  – глубина потока в конце консоли;  $K_p$  – коэффициент размыва,  $K_p = 1,445 + 0,027\alpha_{вх}$ .

С учетом рекомендаций М. А. Михалева диаметр воронки размыва на уровне первоначального дна русла

$$L_{вор} = t_p (0,215 \operatorname{ctg} \alpha_{вх} + 2m). \quad (8)$$

Как видно из рисунка 3 откос  $MC$  можно считать устойчивым и консольный сброс можно применять, если воронка местного размыва не

будет «подпирать» откос  $MC$ , то есть точка  $C$  должна быть левее точки  $D$ . Этому условию соответствует выполнение отношения:

$$x_g - kl_{вор} \geq (y_1 + h_n) \cdot m - l_k, \quad (9)$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий несимметричность воронки размыва, с некоторым запасом  $k = 0,4$ ;  $h_n$  – глубина воды в нижнем бьефе;  $l_k = OM$  – длина консоли.

Из условия (9) предельно наименьшая длина консоли

$$l_k \geq (y_1 + h_n) \cdot m - x_g + kl_{вор}. \quad (10)$$

Введя в качестве исходных данных толщину плиты дна и бортов консоли, по прикладной программе определяется объем бетона, который путем умножения на стоимость бетона и бетонных работ позволит оценить стоимость объекта (до 95% стоимость объекта определяется бетонными работами). При нахождении объема крепления откосов воронка размыва рассмотрена как усеченный конус, а толщина крепления каменной отсыпки принята равным четырем слоям камня диаметром  $d_k$ .

Выходными данными модуля расчета консоли являются: дальность отлета струи  $x_{отл}$ , угол (в градусах) входа струи в поток  $\alpha_{вх}$ , скорость входа струи в поток нижнего бьефа  $v_{вх}$ ,

величина растекания струи  $L$ , глубина воронки размыва  $t_p$ , диаметр воронки размыва на уровне первоначального неразмытого дна  $l_{вор}$ , минимальная длина консоли  $l_k$ , объем бетона при минимальной длине консоли, площадь боковой поверхности воронки, объем и крупность материала крепления откосов воронки размыва, минимальная глубина забивки свай под консолем.

### **Полученные результаты и их обсуждение**

По результатам более 70 численных экспериментов на ЭВМ для оценки оптимальной (наименьшей) длины консоли низконапорного водосброса можно отметить следующее. Первая серия опытов имела цель установление зависимости объема бетона по возведению водосброса и длины консоли от определяющих факторов.

Как и следовало ожидать, с увеличением расхода  $Q$  растет объем бетонных работ по возведению водосброса, а длина консоли уменьшается, что связано с увеличением дальности отброса струи при возрастании расхода.

Аналогичная картина имеет место при увеличении перепада  $z$  в отношении объема бетонных работ. А наименьшая длина консоли практически не зависит от перепада на сооружении.

Оба параметра – объем бетонных работ и наименьшая длина консоли – убывают с увеличением уклона транзитной части водосброса  $i_1$  практической по линейной зависимости. В отношении объема бетонных работ такой результат является предсказуемым, поскольку в этом

случае имеет место уменьшение протяженности водоската.

Оптимальное значение напора  $H$ , соответствующее минимуму объема бетонных работ, получено равным 1,2 м. Такой результат объясняется тем, что сначала с ростом напора уменьшается ширина входной части и водоската и они обходятся дешевле. Однако дальнейшее увеличение напора  $H > 1,2$  м приводит к возрастанию объема бетона в устоях, высота которых с ростом напора также растет. А влияние напора  $H$  на оптимальную длину консоли является неоднозначным. Так, для исследованного диапазона и при условии обеспечения устойчивости сопрягающего участка при  $H < 1, 2$  м консоль можно совсем не устраивать, а при  $H = 2$  м консоль должна быть длиннее.

Скорость подхода потока к сооружению  $v_0$  в количественном отношении значительно слабее влияет на искомые параметры по сравнению с другими факторами. С ростом  $v_0$  длина консоли и объем бетонных работ монотонно увеличиваются.

Как и следовало ожидать, увеличение превышения центра сечения струи в створе уступа над местом падения струи  $u_1$  приводит к необходимости увеличения длины консоли. Хотя при этом растет объем работ по возведению консоли, тем не менее водосброс в целом обходится дешевле.

Целью второй серии графиков явилось сравнение стоимостных показателей по консольным водосбросам в зависимости от конструкции сопрягающей части.

Так, с ростом перепада на сооружении  $z$ , уклона транзитной части  $i_1$ , напора на входе  $H$ , скорости подхода потока к сооружению  $v_0$  и высоты консоли над уровнем нижнего бьефа  $u_1$  консольные трубчатые водосбросы обходятся дешевле консольных открытых водосбросов-быстротоков. Из этой серии расчетов следует также отметить уменьшение стоимости водосброса с ростом  $i_1$ ,  $v_0$  и  $u_1$ .

Характер влияния одного из главных факторов, влияющих на стоимость водосброса - расхода  $Q$  - не является однозначным: при  $Q < 32 \text{ м}^3/\text{с}$  при прочих равных условиях экономичнее консольный водосброс-быстроток, а при дальнейшем увеличении расхода выгодно принимать трубчатый сопрягающий участок.

Отмеченные выводы были получены для случая однопоточной трубчатой сопрягающей части. Была поставлена специальная серия опытов при разном количестве нитей труб  $n_m$ . Результаты расчетов указывают на экономичность однопоточных трубводосбросов (до 4 – 5 раз) по сравнению с многопоточными вариантами.

При сравнении по видам работ стоимость консольного водосброса в значительной степени определяют бетонные работы, далее земляные и затем свайные. В исследованном диапазоне изменения угла наклона консоли к горизонту  $\alpha_1 < 30^\circ$  стоимость открытого водосброса уменьшается до 11% при увеличении значения этого угла.

Важно также сделать и такой вывод: если в литературе консольные водосбросы рекомендуются устраивать в основном при скальных основаниях,

то по результатам проведенных исследований такие водосбросы можно возводить и в случае нескальных грунтов, слагающих дно нижнего бьефа сооружения.

Помимо необходимости полного охвата области определения искомых функций (1), можно также расширить список факторов дополнительным учетом параметров подводящего и отводящего потока и русла, конструкциями входной части, форм поперечного сечения транзитной части открытого водосброса и т. д. Однако учет дополнительных факторов привел бы к еще большему осложнению задачи, в связи с чем исследования были ограничены вышеизложенным материалом.

### **Заключение**

Основной вывод по работе заключается в том, что с помощью разработанной прикладной программы можно автоматизировать процесс проектирования консольных водосбросных сооружений, произвести расчеты при любых значениях определяющих параметров, включая текущие рыночные цены, и на основе сравнения полученных результатов выбрать оптимальный вариант.

Результаты исследований, включая разработанное прикладное программное обеспечение, могут быть использованы в учебном процессе по дисциплине гидравлика и гидрология транспортных сооружений, в курсовом и дипломном проектировании, проектно-исследовательскими организациями при разработке реальных проектов водосбросов на стадиях эскизного и частично технического проектов.

### **Библиографический список**

1. Справочная энциклопедия дорожника. Т. V. Проектирование автомобильных дорог / Под ред. Г.А. Федотова, П.И. - М.: Изд-во ФГУП «Информавтодор», 2007. - 815 с.
2. Алибеков А.К. Сравнение колодезных способов гашения энергии в нижних бьефах низконапорных сооружений // Международный технико-экономический журнал. 2012. № 3 (12). С. 48 - 52.
3. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1988. - 624 с.
4. Курсовое и дипломное проектирование по гидротехническим сооружениям / Под ред. В.С. Лапшенкова. – М.: Агропромиздат, 1989. – 447 с.
5. Волков И.М., Кононенко П.Ф., Федичкин И.К. и др. Проектирование гидротехнических сооружений. – М.: Колос, 1977. - 384 с.
6. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика / Под ред. В.П. Недриги. - М.: Энергоиздат, 1983. – 544 с.
7. Алибеков А.К., Алибеков Г.А. Основы теории планирования эксперимента и практика ее применения: монография. - Махачкала: ДГТУ, 2017. – 176 с.
8. Алибеков А.К. Основы гидравлики: теория и практика: учебное пособие. - Махачкала: ДГТУ, 2016. – 172 с.
9. СП 100.13330.2016 Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 65 с.

### **References**

1. Reference encyclopedia of the road worker. Т. V. Design of highways / Ed. by G. A. Fedotov, P. I. - M.: Publishing house of FSUE "Informavtodor", 2007. - 815 p.
2. Alibekov A. K. Comparison of well methods for quenching energy in the lower reaches of low-pressure structures // International technical and economic journal. 2012. No. 3 (12). pp. 48 - 52.
3. Hydraulic calculations of spillway hydraulic structures: reference guide. – M.: Energoatomizdat, 1988. - 624 p.
4. Course and diploma design for hydraulic works / Edited by V. S. Lapshenkov, Moscow: Agropromizdat, 1989, - 447 p.
5. Volkov I. M., Kononenko P. F., Fedichkin I. K., etc. Design of hydraulic structures. – Moscow: Kolos, 1977. - 384 p.
6. Hydraulic structures. Designer's guide / Under the editorship of V. P. Niedrige. - M.: Energoizdat, 1983. – 544 с.
7. Alibekov A. K., Alibekov G. A. Fundamentals of experiment planning theory and practice of its application: monograph. - Makhachkala: DSTU, 2017. – 176 p.
8. Alibekov A. K. Fundamentals of hydraulics: theory and practice: textbook. - Makhachkala: DSTU, 2016. – 172 p.
9. SP 100.13330.2016 Reclamation systems and structures. Updated version of SNiP 2.06.03-85. - Moscow: tsitp gosstroya SSSR, 1986. – 65 p.

*Статья поступила 08.09.2020 г.*

*© А.К. Алибеков, Р.М. Алиев, А.М. Мухучев, Э.Т. Эмирбеков, 2020*

---

**Сведения об авторах**  
**List of Authors**

---

*Алибеков А.К.* – кандидат технических наук, доцент кафедры бурения нефтяных и газовых скважин Дагестанского государственного технического университета.

*Alibekov A.K.* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Wells Drilling, Daghestan State Technical University.

*Алиев Р.М.* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой бурения нефтяных и газовых скважин Дагестанского государственного технического университета.

*Aliev R.M.* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Oil and Gas Well Drilling, Daghestan State Technical University.

*Мухучев А.М.* – к.ф.-м.н., профессор кафедры экономики и управления Махачкалинского филиала Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета.

*Mukhuchev A.M.* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Economics and Management of the Makhachkala branch of the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University.

*Эмирбеков Э.Т.* – к.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры естественно-научных, гуманитарных, общепрофессиональных и специальных дисциплин Дербентского филиала Дагестанского государственного технического университета.

*Emirbekov E.T.* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Natural Sciences, Humanitarian, General Professional and Special Disciplines of the Derbent branch of the Daghestan State Technical University.

# ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

---

---

УДК 664

doi: 10.21822/2713-220X-2020-1-3-64-67

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВИНОГРАДНЫХ СОУСОВ

*П.В. Шабанова, Н.Б. Еремеева*

*Самарский государственный технический университет  
Самара  
shabanovapv@mail.ru*

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований содержания в виноградном соусе сухих веществ и массовой доли жира. Проведена органолептическая оценка консистенции, внешнего вида, запаха и цвета виноградного соуса с тремя видами ингредиентов: белым вином, белым винным уксусом и яблочным уксусом.

**Ключевые слова:** соус, вино, уксус, сухие вещества, жирность.

**Abstract.** The article presents the results of studies of the content of dry substances in grape sauce and the mass fraction of fat. Organoleptic evaluation of the consistency, appearance, smell and color of grape sauce with three types of ingredients: white wine, white wine vinegar and apple cider vinegar was carried out.

**Keywords:** sauce, wine, vinegar, dry matter, fat content.

### Введение

Соусы играют важную роль в кулинарии. Они дополняют и обогащают вкус многих блюд, приносят важные вкусовые нюансы. Соус может изменить в лучшую сторону вкус любого блюда, подчеркнуть его аромат и сделать внешний вид более привлекательным [1]. Для того чтобы получить вкусный соус, используют качественное сырье.

Чаще всего составляющими соуса являются ягоды, овощи, грибы и молочные продукты. Полезность каждого из этих ингредиентов неоспорима. Например, красный виноград, из которого производят соус, содержит в себе очень много полезных витаминов [2, 3, 4]. Помимо этого, для разнообразия вкусов добавляют натуральные уксусы, содержащие полифенолы, которые

имеют мощные антиоксидантные свойства.

Готовые соусы должны отвечать требованиям по кислотности, содержанию жира, сахара и соли, иметь ярко выраженный вкус и аромат добавляемых вкусовых и ароматических веществ.

### **Цель и методика исследований**

Целью является исследование физико-химических и органолептических

свойств следующих готовых блюд: виноградный соус с добавлением белого вина, виноградный соус с добавлением белого винного уксуса, виноградный соус с добавлением яблочного уксуса.

Для готовых блюд проводили исследования массовой доли сухих веществ и жиров. Rezeptura блюда виноградный соус при изменении в его составе одного ингредиента представлена в таблице 1.

*Таблица 1 – Rezeptura блюда виноградный соус*

№ п/п	Ингредиент	Масса, г
1	Куриное филе	150
2	Соевый соус для маринада	50
3	Мед для маринада	10
4	Черный перец молотый	1
5	Масло оливковое	10
6	Лук шалот	20
7	Виноград красный	25
8	Соевый соус для виноградного соуса	15
9	Мед для соуса	5
10	Вино белое	18

### **Экспериментальная часть и полученные результаты**

Проведенная экспертами органолептическая оценка блюда «виноградный соус» с тремя разными видами ингредиентов показала следующие результаты. Виноградный соус по внешнему виду однородный, темно-красный с глянцевым блеском поверхности и вязкой консистенцией. Сопровождается ярко выраженным ароматом винограда и сладким вкусом, соответствующим виду винограда с привкусом меда.

Согласно оценкам экспертов виноградный соус с добавлением белого вина показал лучший результат и занял первое место, виноградный соус с бе-

лым винным уксусом показал средний результат из-за излишней сладости, а виноградному соусу с добавлением яблочного уксуса дали третье место из-за ярко выраженного уксусного аромата.

Для исследования готовых блюд использовали методики, представленные в МУ 1-40/3805. Проводили исследование массовой доли сухих веществ в виноградном соусе при изменении в его рецептуре (см. табл. 1) одного ингредиента. В первом образце в блюде присутствовало белое вино, во втором – белый винный уксус, а в третьем – яблочный уксус.

Определение массовой доли сухих веществ проводилось ускоренным ме-

тодом (высушивание в сушильном шкафу при температуре 130 °С).

Из результатов, представленных на рисунке 1, можно сделать вывод, что наибольшее содержание сухих веществ в блюде «виноградный соус» присутствует в варианте с использованием белого винного уксуса 51,50 %, среднее – с использованием белого вина 47,10 %, а наименьшее количество присутствует в варианте с использованием яблочного уксуса 43,70 %.

Определение массовой доли жира было проведено весовым методом с экстракцией жира в микроразмельчителе тканей.

Из результатов, представленных на рисунке 2, можно сделать вывод, что наибольшее содержание жира в блюде «виноградный соус» присутствует в варианте с добавлением белого винного уксуса (4,75%), а наименьшее количество присутствует в варианте с добавлением яблочного уксуса (4,00%).



Рисунок 1 – Гистограмма массовой доли сухих веществ в готовых блюдах, %.

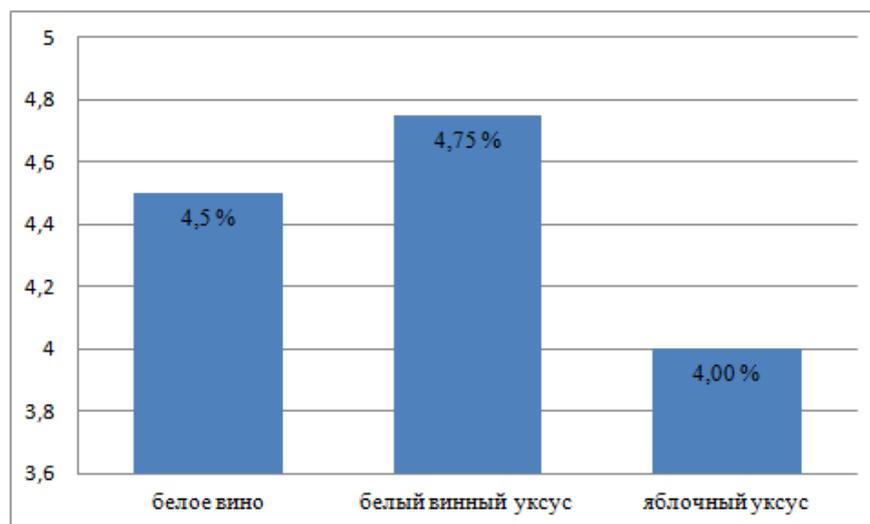


Рисунок 2 – Гистограмма массовой доли жира в готовых блюдах, %.

### **Заключение**

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что из трёх представленных рецептур по содержанию сухих веществ и жира предпочтителен вариант виноградного соуса с добавлением белого вина, так как по исследуемым показателям удерживал

стабильную вторую позицию и показал сравнительно неплохие качества. При органолептической оценке наибольшее количество баллов получил виноградный соус с использованием белого вина, а наименьшее – соус с использованием яблочного уксуса.

### **Библиографический список**

1. Кашин С.П. Соусы и подливы. Ваш домашний повар. - М.: РИПОЛ Классик, 2012. – 576 с.
2. Почичкая И.М., Рослик В.Л. Определение органических кислот в виноградных и фруктово-ягодных винах // Виноделие и виноградарство. 2017. № 2. С. 16-20.
3. Чалдаев П.А., Федорова Е.Н., Кашаев А.Г. исследование красного винограда, выращенного в Самарской области. Для производства виноматериалов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 1 (361). С. 19-21.
4. Остроухова Е.В., Пескова И.В., Пробейголова П.А. Технологическая оценка винограда красных сортов из разных природно-климатических зон Крыма // Виноделие и виноградарство. 2014. № 4. С. 47-50.

### **References**

1. Kashin S.P. Sousy i podlivy. Vash domashnij povar. - M.: RIPOL Klassik, 2012. – 576 s.
2. Pochickaya I.M., Roslik V.L. Opredelenie organicheskikh kislot v vinogradnyh i fruktovo-yagodnyh vinah // Vinodelie i vinogradarstvo. 2017. № 2. S. 16-20.
3. Chaldaev P.A., Fedorova E.N., Kashaev A.G. issledovanie krasnogo vinograda, vyrashchennogo v Samarskoj oblasti. Dlya proizvodstva vinomaterialov // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya. 2018. № 1 (361). S. 19-21.
4. Ostrouhova E.V., Peskova I.V., Probejgolova P.A. Tekhnologicheskaya ocenka vinograda krasnyh sortov iz raznyh prirodno-klimaticheskikh zon Kryma // Vinodelie i vinogradarstvo. 2014. № 4. S. 47-50.

*Статья поступила 12.05.2020 г.  
© П.В. Шабанова, Н.Б. Еремеева, 2020*

---

### **Сведения об авторах List of Authors**

---

*Шабанова П.В.* – студентка факультета пищевых производств Самарского государственного технического университета.

*Shabanova P.V.* – Student of the food production faculty of the Samara State Technical University.

*Еремеева Н.Б.* – старший преподаватель кафедры технологии и организации общественного питания Самарского государственного технического университета.

*Eremeeva N.B.* – Senior Lecturer of the Department of Technology and Organization of Public Catering, Samara State Technical University

## Правила оформления и представления статей

1. Статья, направляемая в редакцию журнала «Научные исследования: итоги и перспективы», должна быть тщательно отредактирована и представлена в электронном виде в формате текстового редактора «MS Word 2007» (параметры страницы – А4; поля – 2,0 см; ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 12; межстрочный интервал – 1,0). Текст статьи представляют в редакцию по электронной почте: naukajournal@mail.ru.

2. Статья должна содержать краткий обзор проблемы, из которого следует постановка задачи, обосновывать актуальность темы, отражать теоретические и (или) экспериментальные результаты и содержать выводы, свидетельствующие о новизне полученных результатов. Текст статьи должен быть четко структурирован и иметь подзаголовки: введение, теоретические и (или) экспериментальные исследования, заключение, список литературы.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности: – инициалы и фамилии авторов, – полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные), – краткая (5-7 строк) аннотация (курсив), – ключевые слова (5-7 слов). Далее авторы, название статьи, аннотация и ключевые слова повторяются на английском языке. Затем идет текст самой статьи и библиографический список. Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны. Сведения об авторах также повторяются на английском языке. Количество авторов рекомендуется не более пяти.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц текста, содержать не более 5 рисунков или фотографий. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, rcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров Excel, Quattro Pro, MS Graph. Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовков.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны во встроенном редакторе формул. Каждая формула, на которую есть ссылка в статье, должна иметь номер, расположенный у правой границы поля страницы.

6. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.). Допускается введение предварительно расшифрованных сокращений.

7. Библиографический список должен быть оформлен по ГОСТ 7.0.5-2008 и включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг – фамилии и инициалы авторов, точное название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц. Нумерация источников указывается в порядке упоминания в тексте.

8. При необходимости к статье прилагаются заключение о возможности открытого опубликования и экспертное заключение комиссии по экспортному контролю.

9. Все статьи проходят проверку на оригинальность.

10. Статья рецензируется ведущим учёным в данной области, как правило, доктором наук.

11. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

12. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

13. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются. Датой поступления статьи считается день получения редакцией окончательного текста. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

14. Статьи публикуются бесплатно.

«Научные исследования; итоги и перспективы» – рецензируемый научно-технический журнал, публикующий статьи по следующим научным направлениям и специальностям:

**05.12.00 – Радиотехника и связь.**

05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии. 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация.

**05.02.00 – Машиностроение и машиноведение**

05.02.02 – Машиноведение системы приводов и детали машин. 05.02.04 – Трение и износ в машинах. 05.02.08 – Технология машиностроения.

**05.27.00 – Электроника.**

05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

**05.22.00 – Транспорт.**

05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте. 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта.

**25.00.00 – Науки о Земле.**

25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

25.00.19 – Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

25.00.35 – Геоинформатика.

**05.18.00 – Технология продовольственных продуктов.**

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов плодоовощной продукции и виноградарства.

05.18.06 – Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов. 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ. 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств.

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания.

**05.23.00 – Строительство.**

05.23.21 – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. 05.23.07 – Гидротехническое строительство. 05.23.16 – Гидравлика и инженерная гидрология.

**05.17.00 – Химическая технология.**

05.17.01 – Технология неорганических веществ. 05.17.04 – Технология органических веществ. 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов.

05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:  
итоги и перспективы  
2020 № 3 (Том 1)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:  
results and prospects  
2020 № 3 (Vol. 1)**

Ответственный за выпуск – Ирзаев Г.Х.  
Компьютерная верстка – Алиева П.А.  
Дизайн обложки – Тагиев М.Х.

Подписано в печать 15.09.2020 г. Дата выхода в свет 28.09.2020 г.  
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 8,32. Уч.-изд. л. 3,76. Тираж 500. Заказ № 743

Электронная версия журнала  
«Научные исследования: итоги и перспективы»  
размещена на сайте [www.dstu.ru](http://www.dstu.ru)

Учредитель/редакция/издатель  
Дагестанский государственный технический университет  
Адрес: 367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70.  
Тел. +7 (8722) 62 37 15  
E-mail: [naukajournal@mail.ru](mailto:naukajournal@mail.ru)

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ИП Тагиева Р.Х.  
г. Махачкала, ул. Батырая, 149. Тел.: 8 928 048 10 45

“ ф о р м а т ”