



ISSN: 2686-7567

2021  
№2(24)

# ВЕСТНИК ГГТУ

Технические науки

| [info@gstou.ru](mailto:info@gstou.ru) | [www.gstou.ru](http://www.gstou.ru)



ISSN: 2686-7567

**ВЕСТНИК ГГНТУ**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**HERALD OF GSTOU**  
**ENGINEERING SCIENCES**

SCIENTIFIC & TECHNICAL JOURNAL

**2021**

Том XVII

**№ 2 (24)**

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

д. т. н., профессор Минцаев Магомед Шавалович

Зам. главного редактора – д. т. н., профессор  
С-А. Ю. Муртазаев  
Ответственный секретарь – к. т. н., доцент  
М. Ш. Саламанова

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель – профессор, д. ф.-м. н.  
И. А. Керимов (АН ЧР)  
д. т. н., профессор, член-корреспондент РАН  
Б. А. Григорьев (ВНИИГаз)  
д. т. н., профессор Ю. В. Дмитрак (СКГМИ)  
к. т. н., доцент М. С. Сайдумов (ГГНТУ)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Строительство. Архитектура**  
д. т. н., профессор А. Д. Абакаров  
д. т. н., профессор Д. К-С. Багаев  
д. т. н., доцент И. Г. Гайрабеков  
д. т. н., профессор Х. Н. Мажиев  
канд. архитектуры, доцент Ш. А. Насуханов  
д. т. н., профессор Т. А. Хежев

### Химическая технология

д. т. н., доцент С. П. Иванов  
д. т. н., профессор Л. Ш. Махмудова  
д. х. н. Х. М. Кадиев  
д. т. н., профессор Х. Х. Ахмадова  
д. т. н., профессор О. Н. Каратун  
д. х. н., профессор Э. А. Александрова  
к. т. н., доцент А. А. Эльмурзаев

### Информатика, вычислительная техника и управление

д. п. н., профессор Э. Д. Алисултанова  
д. т. н., доцент И. Н. Ажмухамедов  
д. т. н., профессор А. В. Илюхин  
к. т. н. М. Р. Исаева  
д. т. н., профессор В. И. Марсов  
д. т. н., профессор К. Е. Румянцев  
д. т. н., профессор А. Л. Рутковский  
д. т. н., профессор Е. А. Хадзагарова  
к. т. н., доцент И. В. Хасамбиев  
д. т. н. М. А. Хажмуратов  
к. т. н. З. Л. Хакимов

## EDITOR – IN-CHIEF

Magomed Mintsaeв, Doctor in Engineering

Associate Editor – Said-Alvi Murtazaev, *Doctor  
in Engineering*  
Executive Secretary – Madina Salamanova, *PhD  
in Engineering*

## EDITORIAL COUNCIL

Chairman – Ibragim Kerimov, *Doctor in Physics  
and Mathematics*  
Boris Grigoryev, *corresponding member of RAS,  
Doctor in Engineering*  
Yuri Dmitrak, *Doctor in Engineering*  
Magomed Saidumov, *Phd in Engineering*

## EDITORIAL BOARD

**Construction. Architecture**  
Abakar Abakarov, *Doctor in Engineering*  
Dena Bataev, *Doctor in Engineering*  
Ibragim Gayrabekov, *Doctor in Engineering*  
Khasan Mazhiev, *Doctor in Engineering*  
Shadid Nasukhanov, *PhD in Architecture*  
Tolya Khezhev, *Doctor in Engineering*

### Chemical Technology

Serguey Ivanov, *Doctor in Engineering*  
Lyubov Makmudova, *Doctor in Engineering*  
Khusain Kadiev, *Doctor in Chemistry*  
Khava Akhmadova, *Doctor in Engineering*  
Olga Karatun, *Doctor in Engineering*  
Elvira Alexandrova, *Doctor in Chemistry*  
Ayub Elmurzaev, *PhD in Engineering*

### Computer Science, Computer Engineering and Management

Esmira Alisultanova, *Doctor in Pedagogics*  
Iskandar Azhmukhamedov, *Doctor in Engineering*  
Madina Isaeva, *PhD in Engineering*  
Andrey Ilyukhin, *Doctor in Engineering*  
Vadim Marsov, *Doctor in Engineering*  
Konstantin Rummyantsev, *Doctor in Engineering*  
Alexander Rutkovsky, *Doctor in Engineering*  
Elena Khadzagarova, *Doctor in Engineering*  
Manap Khazhmuradov, *Doctor in Engineering*  
Ibragim Khasambiev, *PhD in Engineering*  
Zaur Khakimov, *PhD in Engineering*

---

Учредитель: ФГБОУ ВО  
«Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова»  
Журнал включен в РИНЦ  
Подписной индекс АО «Почта России» ПА753

Адрес редакции/издателя:  
364024, г. Грозный, пр. Х.А. Исаева, 100  
Тел./факс: (8712) 29-59-32  
<http://gstou.ru/science/ggntu-works.php>  
e-mail: [trudy-ggntu@mail.ru](mailto:trudy-ggntu@mail.ru)

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и за использование в статьях данных, не подлежащих открытой публикации. Редакция может опубликовать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора. Перепечатка и воспроизведение статей, рекламных и иллюстративных материалов возможны лишь с письменного разрешения главного редактора. Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений.

© ФГБОУ ВО Грозненский государственный нефтяной технический университет  
им. академика М.Д. Миллионщикова, 2021  
© Редакционная коллегия

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- Алисултанова Э. Д., Тасуев У. Р., Моисеенко Н. А.**  
Технологии машинного обучения в бизнесе на основе нейронных сетей ..... 5
- Хасухаджиева Л. А., Моисеенко Н. А.**  
Обзор существующих разработок для создания анимационных роликов и их сравнительный анализ ..... 11

### ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Ахтаев С. С-С., Нурадинов А. С., Нахаев М. Р., Уздиева Н. С.**  
Внешние физические воздействия как фактор управления формированием структуры и свойств крупных стальных слитков ..... 18
- Каграманов А. Г., Касумов М. И., Булчаев Н. Д., Халадов А. Ш.**  
Учет геокриологических условий при разработке сузунского месторождения ..... 35
- Тугельтаев М. М., Каратун О. Н., Танаянц О. В., Шардыко В. В.**  
Возможность использования цеолитов различных производителей для осушки углеводородного газа астраханского ГПЗ филиала ООО «Газпром переработка» ..... 43
- Хамадалиева Г. М., Баулин О. А., Рахимов М. Н., Ахмед Х. А. М.**  
Бифункциональная присадка для дизельных топлив ..... 52

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

- Айменов А. Ж., Айменов Ж. Т., Таймасханов Х. Э., Муртазаева Р. С-А.**  
Гелиосистемы для повышения эффективности использования солнечной энергии в технологии бетона ..... 57
- Кокоев М. Н.**  
Архитектурный декор малоэтажных зданий и строительный 3D-принтер ..... 64
- Марутян А. С.**  
Оптимизация ферменных конструкций типовой серии с перекрестными решетками ..... 70
- Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш., Корянова Ю. И.**  
Мокрый способ приготовления жидкого стекла на кремнеземистых добавках ..... 82

## CONTENTS

### COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

- E. D. Alisultanova, U. R. Tasuev, N. A. Moiseenko**  
Machine learning technologies in business based on neural networks ..... 5
- L. A. Khasukhadzhieva, N. A. Moiseenko**  
Review of existing developments for creating animated videos and their  
comparative analysis ..... 11

### CHEMICAL TECHNOLOGIES

- S. S-S. Akhtaev, A. S. Nuradinov, M. R. Nakhaev, N. S. Uzdieva**  
The use of external physical influence to regulate the formation  
of the structure of steel ingots ..... 18
- A. G. Kagramanov, M. I. Kasumov, N. D. Bulchaev, A. Sh. Khaladov**  
Consideration of geocryological conditions in the development  
of the suzunskeye field ..... 35
- M. M. Tugeltaev, O. N. Karatun, O. V. Tanayants, V. V. Shardyko**  
The possibility of using zeolites from various manufacturers for the drying of  
hydrocarbon gas from the astrakhan gas processing plant, a branch of  
LLC «Gazprom processing» ..... 43
- G. Khamadalieva, O. Baulin, M. Rakhimov, H. Akhmed**  
Bifunctional additive to diesel fuels ..... 52

### CONSTRUCTION. ARCHITECTURE

- A. Zh. Aimenov, Zh. T. Aimenov, Kh. E. Taimaskhanov, R. S.-A. Murtazaeva**  
Heliosystems for increasing the efficiency of the use of solar energy in concrete  
technology ..... 57
- M. N. Kokoev**  
Architectural decor of low-rise buildings and the building 3 D-printer ..... 64
- A. S. Marutyán**  
Optimization of truss structures of the standart series with cross grids ..... 70
- S-A. Yu. Murtazaev, M. Sh. Salamanova, Yu. I. Koryanova**  
Wet method for preparing liquid glass on silica additives ..... 82

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.89

DOI: 10.34708/GSTOU.2021.68.10.001

### ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В БИЗНЕСЕ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

© Э. Д. Алисултанова, У. Р. Тасуев, Н. А. Моисеенко

*ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия*

В данной статье рассматриваются алгоритмы машинного обучения, которые строят математическую модель на основе выборочных данных, известных как «обучающая выборка» (training data) для исполнения прогнозных решений без явного задания алгоритма в целях выполнения поставленной задачи. Сложные маркетинговые проблемы рассматриваются с помощью технологий машинного обучения, уделяя первостепенное внимание индивидуальной поддержке клиентов и разработке новых продуктов.

Предлагаемые решения на основе интеллектуальных систем бизнес-задач, представляющих наибольшую сложность, позволят прогнозировать возможные вариации поведения клиентов. Алгоритмы машинного обучения в данном случае для реализации бизнес-проектов используются для решения проблем, для которых сложно или невозможно разработать традиционный алгоритм для эффективного выполнения задачи. Примененные технологии машинного обучения помогают систематизировать и извлекать информацию из огромного набора необработанных данных.

**Ключевые слова:** машинное обучение, алгоритмы, статистические модели, глубокое обучение, математическая модель, интеллектуальные системы, бизнес-задачи, искусственный интеллект, базы данных, энтропия, обучающая выборка, прогнозные решения.

За последние 10 лет машинное обучение стало одной из главных обсуждаемых в научном мире технических тем. Машинное обучение применяется во многих системах крупных компаний и банков. Оно является одним из факторов развития искусственного интеллекта. Для того чтобы эти технологии развивались, назрела необходимость привлекать к этой работе как можно больше профессионалов, создать среду и в конечном итоге повысить доверие к инструментам искусственного интеллекта. Перспективные меры также рассмотрены и в новом федеральном проекте «Искусственный интеллект», который призван поддержать прорывные научные исследования, разработку и развитие программного обеспечения, в котором используются технологии

искусственного интеллекта, стимулирование спроса на продукты, созданные с использованием технологии искусственного интеллекта, популяризация и развитие сообщества профильных специалистов [1].

Машинное обучение – это наука об изучении алгоритмов и статистических моделей, которые используются компьютерными системами для выполнения конкретной задачи без использования явно заданных инструкций, вместо этого полагаясь на шаблоны и умозаключения. Машинное обучение рассматривается как подмножество искусственного интеллекта [2].

Перечислим некоторые перспективные направления применения технологий машинного обучения:

- *Маркетинг.* Без технологий машинного обучения слишком сложно обработать огромные объемы данных, поступающих из разных источников (например, поведение при покупке, поток посещений веб-сайта, использование мобильных приложений), необходимые для прогнозирования маркетинговых предложений и стимулов. Однако, когда все эти данные используются для обучения нейронных сетей, могут быть получены очень точные прогнозы благодаря тому, что алгоритмы самостоятельно находят закономерности взаимосвязи между данными.

Машинное обучение используется сегодня для определения ценовой эластичности каждого продукта с учетом сегмента канала, сегмента клиента, периода продаж и позиции продукта в общей стратегии ценообразования линейки продуктов.

- *Сегментация клиентов.* Сегментация клиентов с помощью технологий машинного обучения эффективна при выделении небольших однородных групп клиентов с похожим поведением и предпочтениями. Успешная сегментация клиентов является важным инструментом в наборе инструментов каждого маркетолога.

- *Прогнозирование оттока клиентов.* Прогнозирование оттока клиентов можно точно предсказать, выделив закономерности в данных множества клиентов. Это позволяет маркетологам активно предотвращать отток клиентов, что является важным способом увеличения доходов.

- *Ввод данных.* Ошибочно вручную введенные данные являются одними из самых больших проблем, с которыми сегодня сталкиваются компании. Алгоритмы могут либо автоматизировать ввод данных, либо распознавать вероятные ошибки.

- *Обнаружение спама.* Спам-фильтры теперь используют нейронные сети для обнаружения спама и фишинговых сообщений.

- *Рекомендации по продукту.* Обучение без учителя помогает в разработке систем рекомендаций на основе продуктов. Большинство веб-сайтов используют машинное обучение для выработки рекомендаций по продукту.

- *Финансовые сервисы.* С большими объемами количественных и точных исторических данных стало возможно использовать самые продвинутые алгоритмы машинного обучения.

- *Распознавание изображений* является одним из наиболее распространенных применений машинного обучения. Все современные цифровые изображения в той или иной степени обрабатываются и улучшаются технологиями машинного обучения. Машинное обучение также используется для распознавания символов, чтобы различать рукописные и печатные буквы.

- *Распознавание речи.* Перевод произнесенных слов в текст. Оно используется в таких приложениях, которые используют голосовой интерфейс, голосовой поиск и многое другое.

- *Диагностика заболеваний.* Эти прогнозы и выводы составляются с использованием карт пациентов и симптомов, проявляемых пациентом.

- *Энергетика.* Энергетические компании используют технологии машинного обучения для повышения уровня производительности, а также безопасности и надежности добычи и переработки нефти и газа. Машинное обучение позволяет осуществлять интеллектуальное обслуживание и оптимизацию энергопотребления.

Наиболее распространенными и популярными для практического применения технологиями машинного обучения являются нейронные сети и более сложная её модификация – глубокое обучение (deep learning). Эти технологии позволяют интеллектуальной системе самостоятельно получить знания и выявить закономерности в процессе выполнения алгоритма обучения.

Артур Сэмюэль высказывался следующим образом о машинном обучении: «Это область изучения, которая дает компьютерам способность учиться без явно указанного алгоритма». Том Митчелл позднее этот тезис дополнил: «Компьютерная программа обучается из опыта  $E$  в отношении некоторого класса задач  $T$  и показателя эффективности  $P$ , если её производительность в задачах  $T$ , измеряемой  $P$ , улучшается с опытом  $E$ ». Несмотря на то, что данный

алгоритм изложен задолго до прорывного развития технологий искусственного интеллекта, структурный подход к реализации машинного обучения практически не изменился.

Рассмотрим в качестве примера игру в шашки:

E – experience – это опыт игры множества игр в шашки (записи ходов множества игр).

T – target – это цель при игре в шашки (решаемая задача).

P – probability/performance – это вероятность победы программы в игре (иначе говоря, эффективность).

В общем виде, если не вдаваться в подробности, все алгоритмы машинного обучения, в частности нейронных сетей, можно разделить на 2 значимые категории обучения:

- с учителем (supervised)
- без учителя (unsupervised).

Также при этом стоит обозначить опосредованные категории обучения – с подкреплением (reinforcement) и под наблюдением (semi-supervised).

Все алгоритмы нейронных сетей так или иначе сводятся к поиску решений двух типов проблем:

- Классификация (к примеру, определение основной выборки данных для исследований маркетинга рынка недвижимости и др.).
- Регрессия (статистический подход к поиску взаимосвязи между переменными).

Основной целью решения задачи регрессии является оценка по входным переменным для выходной переменной [3].

Если рассматривать технологию использования метода обучения с учителем, то требуется исполнение сбора и структурирования данных таким образом, чтобы были нормализованы все переменные и размечены правильные результаты. Для последующего решения проблемы, связанной с регрессией, потребуется оптимальный подбор параметров модели нейронной сети, выполненный таким образом, чтобы достичь эффективного результата минимизации возможных ошибок. При соблюдении этих условий выработанный алгоритм машинного обучения будет сопоставлять правильный результат каждой записи и определять зависимости между входными и выходными данными.

На практике конфигурация модели нейронной сети модифицируется разработчиком до тех пор, пока не будут получены ожидаемые результаты. В случае, если они не достигаются, требуется собрать больше данных для обучающей выборки или же рассмотреть другие архитектуры модели нейронной сети.

Чаще всего в решении предлагаемой задачи используется метрика – среднеквадратическое отклонение. Важное преимущество технологий искусственного интеллекта заключается в способности алгоритма в короткие сроки обрабатывать огромный объем данных для прогнозирования и получить информацию для принятия решений.

Машинное обучение может помочь автоматизировать ежедневные человеческие процессы и принимаемые решения. Для достижения этой цели необходимо изучить все бизнес-процессы, протекающие в компании.

Чтобы определить процесс, в котором можно применить технологии машинного обучения, требуется выделить процессы, имеющие следующие особенности:

- в процессе участвует большое количество сотрудников;
- процесс потребляет много времени
- в нем присутствуют рутинные задачи, повторяющиеся действия;
- в процессе участвует большое количество документации, сотрудники тратят время на поиск нужных документов;
- требуется обработка значительных массивов данных.

В случае если существует такой процесс, следует сохранить все данные, которые связаны с данным процессом, и выделить ключевые параметры, от которых зависит результат работы [4].

После сбора достаточного количества данных необходимо найти наиболее эффективную модель нейронной сети с точки зрения необходимой точности и требуемого для его достижения количества данных. Для этого следует провести тесты различных архитектур, изменяя различные параметры модели.

Как правило, при увеличении количества нейронов требуется больше вычислительных мощностей для завершения процесса обуче-



ния. При увеличении числа слоёв нейронной сети возможно уменьшение суммы нейронов на каждом отдельном слое с сохранением точности, но может возрасти необходимое количество данных для процесса обучения [5].

На практике необходимо экспериментально подобрать параметры нейронной сети для получения удовлетворительного результата.

Технологии машинного обучения помогают систематизировать и извлекать информацию из огромного набора необработанных данных. При правильной реализации эти технологии могут служить решением различных бизнес-проблем, прогнозировать сложное поведение клиентов.

Допустим, в риэлтерском агентстве планируют запустить на своей официальной веб-странице систему для расчёта примерной стоимости недвижимости. Для простоты будем использовать только квартиры.

Данные о 1280 квартирах получены из крупнейшей в России электронной доски объявлений «www.avito.ru» по результатам поиска в разделе «Недвижимость: квартиры» в г. Грозном.

Рассмотрим применение технологии нейронных сетей на задаче предсказания стоимости квартиры, в зависимости от её площади в г. Грозном. Действительными значениями будем считать цены, выставленные продавцами, а не фактическую стоимость сделки. Таким образом, согласно данным выше переменным:

T – задача состоит в предсказании стоимости C, в зависимости от площади S, количества комнат R, и номера этажа H.

E – это данные о стоимости квартир (C).

P – вероятность правильного предсказания результата в пределах заранее заданной погрешности.

Основой для создания базы данных о параметрах, рассматриваемых в данной задаче квартир, для машинного обучения, является наличие большого количества записей (около 1000 уникальных квартир). Кроме того, данные должны по возможности содержать записи с разнообразными характеристиками. Для тренировки и проверки использовались данные в соотношении 80% обучающей и 20% тестированной выборки.

Кроме того, требуется привести все значения в данных в промежуток от 0 до 1.

Наиболее простым способом приведения значений в промежуток от 0 до 1 будет являться деление переменных R, S, H, C соответственно на 10, 1000, 100 и 100.

Таким образом, при исследовании рассматриваемой бизнес-задачи была создана электронная база из маркетинговых исследований региона по данным для 1280 размеченных квартир. Для решения нашей поставленной задачи использована технология на базе полносвязной архитектуры нейронной сети прямого распространения. При реализации машинного обучения были достигнуты показатели, свидетельствующие об эффективности применения нейронных сетей в поставленной бизнес-задаче – соотношение записей обучающей и тестовой выборки для нейронной сети составило 80% и 20%. В качестве функции потерь в исследовании была использована функция бинарной перекрестной энтропии.

Как понятно из результатов, технологии нейронных сетей позволяют получить сходные с более классическими методами анализа результаты. При этом не тратится время на нахождение закономерностей взаимодей-

Электронная база из маркетинговых исследований региона

Параметры	Минимум	Максимум	Новый минимум	Новый максимум	Множитель
Количество комнат R	1	5	0,001	0,005	0,1
Площадь S, м <sup>2</sup>	20	600	0,02	0,6	0,001
Номер этажа H	1	13	0,001	0,013	0,01
Стоимость C, млн. руб.	1,5	17	0,015	0,017	0,01

ствия между переменными для построения математической модели. В данном случае мы рассматриваем однофакторную модель. В случае если параметров значительно больше, то использование нейронных сетей и глубокого обучения даёт значительные результаты.

Решения этих маркетинговых проблем, на первый взгляд, достаточно простые, в то же время для бизнес-сообщества могут представлять наибольшую сложность, но в то же самое время их реализации могут давать значимое преимущество, что в перспективе даёт большую выгоду. Области применения включают в себя чат-ботов и виртуаль-

ных помощников, снижающих отток клиентов, определение рекомендаций по продуктам и услугам [6].

Исследования в области применения искусственного интеллекта по направлению бизнес-задач показывают особенную их актуальность на современном этапе развития цифровой экономики во всем мире. По статистическим данным более 58% предприятий в первую очередь решают самые сложные маркетинговые проблемы с помощью технологий машинного обучения, уделяя первостепенное внимание индивидуальной поддержке клиентов и разработке новых продуктов [6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201910110003>
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Machine\\_learning](https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning)
3. <https://www.coursera.org/learn/machine-learning/supplement/ExY6Z/lecture-slides>
4. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/studio/azure-ml-customer-churn-scenario>
5. Artificial Intelligence: What's Possible for Enterprises In 2017 (PDF, 16 pp., no opt-in), Forrester, by Mike Gualtieri, November 1, 2016.
6. Turning AI into concrete value: the successful implementers' toolkit, Capgemini Consulting. 2017. (PDF, 28 pp., no opt-in).

## MACHINE LEARNING TECHNOLOGIES IN BUSINESS BASED ON NEURAL NETWORKS

© E. D. Alisultanova, U. R. Tasuev, N. A. Moiseenko  
*GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia*

This paper discusses machine learning algorithms that construct a mathematical model based on sample data, known as "training data," to execute predictive decisions without explicitly specifying an algorithm in order to perform a given task. Complex marketing issues are addressed through machine learning technologies, focusing on individual customer support and new product development.

The proposed solutions based on intelligent systems of business tasks, which are the most complex, will predict possible variations in customer behavior. In this case, machine learning algorithms for implementing business projects are used to solve problems for which it is difficult or impossible to develop a traditional algorithm for efficiently performing a task. Applied machine learning technologies help systematize and extract information from a huge set of raw data.

**Keywords:** machine learning, algorithms, statistical models, deep learning, mathematical model, intelligent systems, business problems, artificial intelligence, databases, entropy, training sample, predictive solutions.

## REFERENCES

1. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201910110003>
2. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Machine\\_learning](https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning)
3. Available at: <https://www.coursera.org/learn/machine-learning/supplement/ExY6Z/lecture-slides>
4. Available at: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/studio/azure-ml-customer-churn-scenario>
5. (2016) Artificial Intelligence: What's Possible for Enterprises In 2017 (PDF, 16 pp., no opt-in), Forrester, by Mike Gualtieri, November 1, 2016.
6. (2017) Turning AI into concrete value: the successful implementers' toolkit, Capgemini Consulting. (PDF, 28 pp., no opt-in).

## ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РАЗРАБОТОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ АНИМАЦИОННЫХ РОЛИКОВ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

© Л. А. Хасухаджиева, Н. А. Моисеенко  
ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

В данной статье представлен обзор существующих программных разработок для создания анимационных роликов и их сравнительный анализ. Для проведения сравнительного анализа были рассмотрены такие программы, как: MohoPro; AdobeAnimate; EasyGIFAnimator; TVPaintAnimation; AnimationPaper; Pencil2DAnimation; AutodeskMaya; iClone. Критериями для сравнительного анализа выступили: уровень качества анимации, уровень доступности и платности программ, ценовая категория, поддержка и новые версии, совместимость программ с конкретной операционной системой, системные требования, тип анимации, функциональные возможности, степень понятности интерфейса, создаваемый формат. Представлены результаты сравнительного анализа программных средств для создания 2d и 3d анимационных роликов. Определены преимущества и недостатки программных средств создания анимационных роликов. Сделаны выводы о существующих разработках в сфере создания анимационных роликов.

**Ключевые слова:** анимация, компьютерная анимация, анимационные ролики, программы для создания анимации.

В настоящее время кино и мультипликация занимают одно из самых лидирующих мест в сфере развлечений. Кроме того, анимация стала достаточно популярной в сферах образования и культуры. При таком большом спросе в анимационных проектах очень важно создавать их не только качественно, но и быстро. Работа аниматора весьма трудоемкая: на создание одной секунды фильма тратится большое количество времени.

Компьютерная анимация основана на принципах классической рисованной анимации. В данный момент существует множество различных программ, позволяющих создавать компьютерную анимацию посредством ручной расстановки ключевых кадров и генерации промежуточных. При этом процесс создания анимации становится быстрее, чем при классической анимации, но всё же остаётся длительным.

Анимация – это изменение свойств объекта в течение некоторого времени. Например, изменение цвета, размера, положения и формы объекта или группы объектов. Анимация включает использование неподвижных изображе-

ний и управление ими для создания иллюзии движения. Человека, создающего анимацию, называют аниматором. Хотя существует множество форм анимации, можно сосредоточиться на трех наиболее известных [4].

2D. Классический тип анимации. Рисованная анимация. Это самый старый и простой (но не самый простой и дешевый) метод, существующий с начала 20 века. С появлением технологий карандаши стали заменять на стилусы, а бумагу – на планшеты Cintiq и Wacom. Принципы рисования остались прежними, но изменилась технология. Хотя технические инструменты делают его проще и доступнее, некоторые из величайших аниматоров все еще используют карандаш и бумагу для рисования своей анимации. 2D-анимация – это искусство создания движения в двухмерном пространстве. Сюда входят персонажи, существа, спецэффекты и фоны. Иллюзия движения создается, когда отдельные рисунки последовательно соединяются во времени. Одна секунда времени обычно делится на 24 кадра. В зависимости от стиля анимации может быть до 24 уникальных рисунков за одну секунду анима-

ции (24 кадра в секунду) или всего два. Обычно анимация выполняется на «2 секунды», что означает отрисовку каждые 2 кадра (12 кадров в секунду). Это позволяет художникам сэкономить время / затраты на производство и придает 2D-анимации уникальный вид.

2D – популярная и разнообразная среда, которая снова и снова возвращается. Ее чаще всего можно увидеть в телешоу, видеоиграх, художественных фильмах, рекламе, мобильных приложениях и на веб-сайтах. Спрос на 2D-аниматоров, которые могут создавать развлекательный и увлекательный контент, значительно вырос за последнее десятилетие. Нужны опытные и увлеченные художники, которые любят анимированную графику и умеют создавать оригинальный и привлекательный контент.

3D. Компьютерная графика. Эта форма анимации стала возможной только с инновациями в компьютерной графике в 1990-х годах и с тех пор стала очень популярной. Компьютерная графика позволяет аниматору создавать фотореалистичные изображения, которые классическая анимация не может. Кроме того, мощное программное обеспечение для анимации позволяет создавать промежуточные эффекты, освещение, скопление людей, среду и многое другое. Из-за этого она стала наиболее распространенной формой анимации, используемой сегодня в киноиндустрии.

В 3D-анимации объекты можно перемещать и вращать по тем же принципам, что и в реальной жизни. Компьютерная анимация использует трехмерную компьютерную графику для создания двухмерного движущегося изображения в трех измерениях. 3D-анимация используется в таких разнообразных отраслях, как игры и медицина, а также для презентаций и маркетинга во всех отраслях. Хотя большая часть истории анимации наиболее очевидна для широкой публики в том, как она использовалась в индустрии развлечений, правда в том, что 3D-анимация используется в самых разных отраслях, сейчас больше, чем когда-либо прежде. Вначале 3D-анимация разрабатывалась не только для искусства, но и для исследований и науки [2].

Покадровая анимация. Это старейший вид анимации и один из самых интересных. Эта форма включает в себя индивидуальные фото-

графии физических моделей, объектов, марионеток или людей, когда они перемещаются, по одному кадру за раз. Это самый редкий вариант из-за того, насколько утомительно и отнимает много времени создание объектов и декораций, а также получение отдельных снимков для каждого кадра.

Однако настоящая разница между 2D и 3D-анимацией заключается в том, как они созданы. Весь процесс 2D-анимации происходит в двух измерениях. Создается последовательность рисунков, и при небольшом изменении каждого рисунка создается последовательность, которая при быстром воспроизведении создает иллюзию движения. 3D-анимация полностью создается на компьютере, но выполняется в трех измерениях. В первой части процесса создания 3D-анимации создаются трехмерные модели. Анимации создаются путем перемещения этих трехмерных моделей, как если бы вы двигали марионетку. После создания модели анимация завершается изменением позы и размещения модели.

Сравнительный анализ программ проводился по следующим критериям: качество получаемой анимации, доступность и платность программных средств, цена (для платного программного обеспечения), поддержка и новые версии, совместимость программ с конкретной ОС, объём потребляемых ресурсов (и другие системные требования), вид анимации, функционал, понятность интерфейса, создаваемые форматы [1].

Следует отметить общую особенность: большинство исследуемых программных средств – англоязычные, найти и скачать их можно (платно или бесплатно) на официальных сайтах компаний-разработчиков. Не все программы просты для освоения и использования, для работы с некоторыми из них требуется определенный опыт работы с анимационными программными средствами.

Существует достаточно много специальных программ для создания анимации. Условно их можно разделить на два вида:

1. Программы для создания 2D-анимации (например, AdobeFlash, AdobeAfterEffects).

2. Программы для создания 3D-анимации (например, Autodesk 3ds Max, Blender) [7].

### Программы для 2D-анимации

1. MoHoPro 12 (MoHoPro 13, MoHo 13) – программное обеспечение компании SmithMicroSoftware, используется для векторной 2D-анимации и графики.

MoHo – это программа для 2D-анимации, которая предоставляет профессиональные, мощные и простые в использовании инструменты для анимации. Создавать своих персонажей и сцены можно прямо в MoHo или импортировать изображения и файлы Photoshop, сохраняя связь и структуру слоев. MoHoPro идеально подходит для профессионалов, которые ищут более эффективную альтернативу при создании качественной анимации.

Уникальная векторная система в MoHo оптимизирована для анимации, сохраняя постоянство форм во время движения. Векторные инструменты MoHo позволяют рисовать прямо в программе. Также можно добавить кисти и эффекты, чтобы легко получить естественный результат. Можно анимировать все: кривизну, ширину линии, экспозицию, профили кривых, контуры, маски, градиенты, непрозрачность, цвета точек.

Система программы MoHo интуитивно понятна и работает быстро. «Умные кости», или SmartBones – это революционный способ заставить персонажей в программе вести себя именно так, как требуется. Суставы анимированных персонажей будут изгибаться без искажений. Также можно использовать SmartBones в качестве рычагов управления для анимации мимики, поворотов лица или также поворотов всего тела.

Интуитивно понятная система V-образных костей позволяет чередовать различные рисунки и наборы костей. Этот уникальный подход упрощает создание персонажей с привлечением традиционной анимации. Программа предоставляет возможности по использованию квадратных сеток анимации [8].

Преимущества: не очень высокие системные требования; есть векторное изображение с 3d-элементами; обширные функциональные возможности; доступно множество форматов видео; высокое качество анимации; мало совершаемых действий для разработки анимационного ролика.

Недостатки: дорогая платная версия; использование только английского языка в интерфейсе; интерфейс программы не самый удобный.

2. AdobeAnimate – программное обеспечение, разработанное компанией AdobeSystems. Используется для разработки интерактивной векторной и растровой анимации. AdobeAnimate – это универсальное решение для выполнения всей работы, связанной с анимацией.

AdobeAnimate представляет собой смесь других продуктов AdobeCloudCollection, что делает AdobeAnimate простым в использовании программным обеспечением, особенно для тех, кто уже использовал такие продукты, как AdobePhotoshop, AdobeIllustrator, AdobeAfterEffects [3].

AdobeAnimate имеет много возможностей, интуитивно понятный интерфейс. AdobeAnimate отлично подходит для тех, кто только учится анимировать.

Преимущества: не очень высокие системные требования; много разных функций; есть русский язык; по итогу – высокое качество роликов; удобный интерфейс.

Недостатки: дорогая профессиональная версия.

3. Easy GIF Animator – это анимированный GIF редактор для разработки анимированных роликов, баннеров, кнопки и GIF видео. Больше используется именно для создания коротких роликов, но также можно использовать в мультипликации.

Программа позволяет легко изменять кадры анимации или рисовать новые изображения, позволяет создавать оптимизированные высококачественные анимированные изображения. Easy GIF Animator очень прост в освоении и использовании.

Преимущества: различные форматы изображений; множество функций; не очень высокие системные требования; удобный интерфейс.

Недостатки: дорогая профессиональная версия; совместимость только с Windows.

4. TVPaintAnimation – это программа для 2D-анимации, разработанная компанией TVPaintDeveloppement SARL, основанной в

Лотарингии (Франция). TVPaintAnimation – это 2D-программа, основанная на технологии растровых изображений. Благодаря этой технологии можно анимировать естественные рисунки (гуашь, акварель, масляная живопись, цветной карандаш, перо) традиционным способом (изображение за изображением) [5].

TVPaintAnimation не требует ни графического стиля, ни рабочего процесса. Также возможно смешивать анимацию на бумаге и цифровую анимацию, делать ротоскопию, использовать другое программное обеспечение или просто полностью создавать свой проект с помощью TVPaintAnimation.

TVPaintAnimation очень легко импортирует любое видео в большинстве распространенных форматов (avi, mpег и многие другие). Импортировать видео или изображение очень просто: простое перетаскивание в TVPaintAnimation. Затем эти видео будут помещены в слой анимации в виде последовательности изображений. Благодаря этой системе можно добавлять слой над слоем, содержащим видео, и рисовать ключевые изображения, не затрагивая исходное видео.

Преимущества: различные форматы изображений; множество функций; не очень высокие системные требования; удобный интерфейс; высокий уровень разработки анимации.

Недостатки: дорогая профессиональная версия; совместимость только с Windows; интерфейс на английском языке.

5. AnimationPaper – программа для 2D-анимации, создание анимации схоже с созданием рисованной мультипликации. AnimationPaper – это простая в использовании программа с функциями для тех, кто любит рисовать. Полная версия программы представляет такие характеристики, как высокое качество, плавный обзор, возможность настройки в соответствии с требованиями пользователя и гибкая работа на всех устройствах.

Преимущества: различные форматы изображений; множество функций; не очень высокие системные требования; высокий уровень разработки анимации.

Недостатки: работа только с растровыми изображениями; только на английском языке; не очень удобный интерфейс.

6. Pencil<sup>2</sup>D Animation – программное обеспечение, специализирующееся на 2D-анимации и поддерживающее работу с растровой и векторной графикой. Легкий и простой в использовании программный продукт. Pencil<sup>2</sup>D является кроссплатформенным и работает в Windows, macOS, Linux и FreeBSD. Pencil<sup>2</sup>D – это полностью открытый исходный код, и его можно использовать бесплатно, даже в коммерческих целях [6].

Приложение позволяет хранить отдельные фрагменты и сцены, создавать библиотеки анимированных объектов, персонажей и эффектов. Pencil<sup>2</sup>D дает аниматорам возможность работать поэтапно. Быстро создавать грубые прототипы и доводить их до надлежащего качества в ходе последующей доводки. Синий карандаш используется для грубых набросков, а черный – для уточнения контуров.

Преимущества: полностью бесплатная программа; различные виды анимации; много функций; на русском языке.

Недостатки: мало обновлений программы; не очень высокое качество анимационных роликов; в программе возможно создание только черно-белых рисунков, для их раскраски, а также для монтажа отдельных кадров в мультипликацию требуется использование других программ; трудно использовать все функции программы, не изучая справку (особенно это касается русскоязычных пользователей, так как справка и все поясняющие надписи – на английском языке); требуется понять назначение большого количества инструментов, которыми оснащена программа.

3D-анимация имеет много общего с рабочим процессом, ориентированным на 3D-моделирование, поскольку оба являются однопоточными задачами. Моделирование – неотъемлемая часть 3D-индустрии. Ни один анимационный фильм или видеоигру невозможно представить без 3D-моделей. Персонажи, реквизит, окружение, почти каждая идея должна быть представлена в виде 3D-модели полностью или частично. 3D – универсальный инструмент, который пригодится любому современному художнику. Представим программы для 3D-анимации [3].

1. Autodesk Maya – программное средство для 3D-анимации, моделирования и визуа-

лизации. Впервые Maya была выпущена еще в 1998 году компанией Alias или Wavefront и приобретена Autodesk в начале 2006 года. С 2006 года команда инженеров Autodesk улучшала и дополняла программное обеспечение. Maya используется 3D-аниматорами по всему миру и предназначена для производства художественных фильмов. Она используется в фильмах, полностью построенных на компьютерной графике, таких как «Человек-паук: в стихах-пауках» от SonyPicturesAnimation, получившем «Оскар», и в фильмах с живыми боевыми действиями, таких как «Мстители: Война бесконечности».

Преимущества: для бизнес-пользователя доступна бесплатная 30-дневная версия, для преподавателей и студентов доступна бесплатная версия на 3 года (на английском) при регистрации на сайте; относительно недорогая; наличие поддержки и новых версий; совместимость программы с Windows 64-bit, Linux, Mac OS X; не очень высокие системные требования; разнообразный функционал; создаваемые форматы – avi и др.; высокое качество анимации; мало совершаемых действий для создания анимации.

Недостатки: есть некие сложности в освоении программы; часть функций и их использование неочевидно; не самый высокий критерий в удобстве интерфейса; английский язык интерфейса.

2. iClone – программное обеспечение для 3D-анимации во многих сферах. iClone – самое быстрое в реальном времени 3D программное обеспечение для анимации в индустрии, помогая вам легко создавать профессиональные анимации для фильмов, превизов, анимации, видеоигр, разработки контента, образования и искусства. Интегрированный с новейшими технологиями реального времени, iClone 7 упрощает мир 3D-анимации в удобной для пользователя производственной среде, сочетающей в себе анимацию персонажей, дизайн сцены и кинематографическое повествование; быстро превратит ваше видение в реальность.

Данная программа отличается следующим:

1) Расширенные инструменты для редактирования кривых, имитирует естественную

динамику твердого тела и поведение мягкой ткани, органические морфы, столкновения и ограничения.

2) Интуитивно понятный рабочий процесс с персонажами и движением. Свободная форма морфинга тела и модный многослойный дизайн для создания нестандартных персонажей. Полностью приспособлен для движения тела, синхронизации губ и лицевой анимации.

3) Активная режиссура с камерой, освещением и реквизитом. Можно управлять производством с помощью реальной многокамерной системы, кинематографического редактирования временной шкалы, полного освещения и настройки сцены.

4) Кинематографические визуальные эффекты в реальном времени. Охватывающие художественные 3D-визуальные эффекты в реальном времени, включая PBR, IBL и GlobalIllumination, для достижения максимального качества для быстрого производства.

5) Конвейер к 3D-инструментам и игровым движкам. Полный рабочий процесс для импорта и экспорта трехмерных персонажей, движений, камеры, сцен и реквизита.

6) Неограниченное расширение с помощью передовых плагинов. Мощные партнерские технологии, используемые для инновационного рендеринга, динамических материалов, мокапов и многого другого.

7) Контент по запросу и ресурсы сообщества. Доступ к готовым к анимации персонажам, движениям, аксессуарам и реквизиту от партнеров по фирменному контенту и известных художников [5].

Преимущества: все, что перечислено выше; относительно недорогая; есть поддержка, новые версии выходят нередко; умеренные системные требования; разнообразный функционал.

Недостатки: совместимость программ с Windows 10, 8 и 7 (SP1); английский язык интерфейса.

Итак, в результате проведенного анализа можем сделать следующие выводы:

– несмотря ни на что, анимация – это сложный процесс. Нарисовать одну хорошо сделанную картинку достаточно сложно, не говоря уже о тысячах. Вот почему анимация – это



скорее занятие на всю жизнь. Но это занятие, которое стоит затраченных усилий. Мало того, что анимация имеет явные преимущества для бизнеса и дизайна, это поистине волшебный вид искусства, способный вывести любой повседневный проект на вершину воображения;

– все программы создания анимационных роликов, выбранные для сравнительного анализа, имеют обязательный набор функций, необходимых для создания анимации (это операции с кадрами и функции графического редактора), более того, все исследуемые программы имеют несколько дополнительных функций сверх необходимого минимума;

– программы для 2D-анимации легче для освоения, чем программы для 3D-анимации;

– в целом, несмотря на различие функционала и интерфейса, программы имеют достаточно много общего, поэтому человек, ос-

воивший одну-две программы, может освоить и другие аналогичные программы;

– из восьми рецензированных программ лишь одна из них не рекомендуется для использования.

Таким образом, для создания 2D и 3D-анимации и анимационных роликов есть множество программных средств, отличающихся друг от друга различными свойствами и функционалом, но при этом у них достаточно общих черт. Вместе с тем используемые программы для создания анимации в основном англоязычные. Их можно приобрести как платно, так и бесплатно на официальных сайтах компаний-разработчиков, а также их посредников. Одни программы достаточно просты в освоении и использовании, другие требуют сформированных навыков по работе с анимационными программами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Батенькина О. В.* Технологии анимации: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавра 09.03.02 «Информационные системы и технологии» / *О. В. Батенькина*; Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Омский гос. техн. ун-т». Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. 115 с.
2. *Левашова Е. А.* Из истории анимации и мультимедиа // Преподаватель XXI века. 2019. № 3-1. С. 151-158.
3. *Лушиников Н. Д.* Эволюция современных систем компьютерной анимации // Инновационное развитие. 2017. № 11 (16). С. 25-26.
4. *Малашин С. С.* Компьютерная анимация и проблемы при её создании / *Малашин С. С., Гнедина О. А.* // Системный анализ, управление и обработка информации: тр. VII Междунар. семинара. 2016. С. 278-280.
5. *Пахлебухина В. Г.* Компьютерная анимация // Форум молодых ученых. 2017. № 10 (14). С. 560-563.
6. *Ситникова Л. Д., Богатырева Ю. И.* Использование анимации и компьютерной графики в учебном процессе // Гуманитарные ведомости ТГПУ им. Л. Н. Толстого. 2013. № 1-2 (5-6). С. 30-35.
7. *Шапвалова Д. В.* Анализ научных исследований по проблеме создания 2d- и 3d-анимации в мультипликации // Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО. XLVIII научная и учебно-методическая конференция Университета ИТМО. 2019. С. 300-304.
8. *Шнейдер Е. А.* Создание и анимация персонажа для компьютерной игры / Шнейдер Е. А., Соснина О. А. // Актуальные вопросы в науке и практике: сб. ст. по материалам VI Междунар. науч.-практ. конф. 2018. С. 139-155.

## REVIEW OF EXISTING DEVELOPMENTS FOR CREATING ANIMATED VIDEOS AND THEIR COMPARATIVE ANALYSIS

© L. A. Khasukhadzhieva, N. A. Moiseenko

*GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia*

This article provides an overview of existing software developments for creating animated videos and their comparative analysis. To conduct a comparative analysis, such programs as: Moho Pro; Adobe Animate; Easy GIF Animator; TVPaint Animation; Animation Paper; Pencil<sup>2</sup>D Animation; Autodesk Maya; iClone were considered. The criteria for the comparative analysis were: the level of animation quality, the level of availability and payment of programs, the price category, support and new versions, compatibility of programs with a specific operating system, system requirements, the type of animation, functionality, the degree of clarity of the interface, the format being created. The results of a comparative analysis of software tools for creating 2d and 3d animated videos are presented. The advantages and disadvantages of software tools for creating animated videos are determined. Conclusions are drawn about the existing developments in the field of creating animated videos.

**Keywords:** animation, computer animation, animated videos, programs for creating animation.

### REFERENCES

1. Batenkina, O. V. (2015) *Tekhnologii animatsii: ucheb. posobie dlya studentov vyssh. ucheb. zavedenii, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki bakalavra 09.03.02 "Informatsionnye sistemy i tekhnologii"* [Animation technologies: textbook. manual for higher education students. studies. institutions studying in the bachelor's degree program 09.03.02 "Information systems and technologies"]. O. V. Batenkina; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education. education "Omsk State Technical University. un-t". Publishing house of OmSTU, Omsk, 115 p.
2. Levashova, E. A. (2019) 'Iz istorii animatsii i mul'timedia'. [From the history of animation and multimedia]. *Teacher of the XXI century*. No. 3-1. pp. 151-158.
3. Lushnikov, N. D. (2017) 'Evolutsiya sovremennykh sistem komp'yuterno animatsii'. *Innovatsionnoe razvitie* [Evolution of modern computer animation systems. Innovative development]. № 11 (16). Pp. 25-26.
4. Malashin, S. S. and Gnedina, O. A. (2016) 'Komp'yuternaya animatsiya i problemy pri ee sozdaniy'. *Sistemnyi analiz, upravlenie i obrabotka informatsii: tr. VII mezhdunar. Seminara*. [Computer animation and problems in its creation. System analysis, management and processing of information: tr. VII international. the seminar]. p. 278-280.
5. Pakhlebukhina, V. G. (2017) 'Komp'yuternaya animatsiya'. *Forum molodykh uchenykh*. [Computer animation. Forum of Young Scientists]. № 10 (14). P. 560-563.
6. Sitnikova, L. D. and Bogatyreva, Yu. I. (2013) 'Ispol'zovanie animatsii i komp'yuterno grafiki v uchebnom protsesse'. *Gumanitarnye vedomosti TGPU im. L. N. Tolstogo* [The use of animation and computer graphics in the educational process]. No. 1-2 (5-6), pp. 30-35.
7. Shapovalova, D. V. (2019) 'Analiz nauchnykh issledovaniy po probleme sozdaniya 2d- i 3d-animatsii v mul'tiplikatsii'. *Al'manakh nauchnykh rabot molodykh uchenykh universiteta ITMO. XLVIII nauchnaya i uchebno-metodicheskaya konferentsiya Universiteta ITMO*. [Analysis of scientific research on the problem of creating 2d and 3d animation in animation. Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University. XLVIII Scientific and educational-methodical conference of ITMO University]. Pp. 300-304.
8. Schneider, E. A. and Sosnina, O. A. (2018) 'Sozdanie i animatsiya personazha dlya komp'yuterno igr'. *Aktual'nye voprosy v nauke i praktike: sb. st. po materialam VI mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Creation and animation of a character for a computer game. Actual issues in science and practice: collection of articles based on the materials of the VI International scientific and practical Conference-2018]. Pp. 139-155.

## ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК: 669-1:536.248.2

DOI: 10.34708/GSTOU.2021.75.22.003

### ВНЕШНИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАК ФАКТОР УПРАВЛЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЕМ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КРУПНЫХ СТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ

© <sup>1</sup>Ахтаев С. С.-С., <sup>1</sup>Нурадинов А. С., <sup>2</sup>Нахаев М. Р., <sup>1</sup>Уздиева Н. С.

<sup>1</sup>ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

<sup>2</sup>Чеченский государственный университет, Грозный, Россия

В настоящей работе исследовано влияние температурных и силовых параметров внешнего воздействия на кристаллизацию и структурообразование слитков из модельных и реальных сплавов. Показано, что скоростью зарождения и роста кристаллов, а также размерами структурных зон в слитках можно управлять, изменяя температурный градиент, возникающий в жидкой фазе перед границей затвердевания. Управлять градиентом температур по сечению затвердевающего расплава можно, регулируя интенсивность теплоотвода, а также дифференцируя теплоотвод по периметру формирующегося слитка. Установлено, что от соотношения градиента температуры к скорости кристаллизации –  $G/R$  зависит формирование той или иной структурной зоны слитков. Наглядно доказана эффективность влияния вибрации на формирование структуры исследуемых слитков. Определен механизм воздействия вибрации на процессы кристаллизации и формирования структур слитков, который заключается в проявлении следующих эффектов: в разрушении и дроблении дендритов, растущих на фронте кристаллизации, под действием знакопеременных изгибающих давлений упругой волны; в зарождении кристаллов в объеме кристаллизующегося расплава вследствие кавитации; в разрушении дендритов в расплаве и на фронте кристаллизации под действием давлений, возникающих в результате схлопывания кавитационных каверн.

**Ключевые слова:** физическое моделирование, слитки, интенсивность теплоотвода, тепло- и массоперенос, неметаллические включения, конвективные потоки, кристаллизация, вибрация, структура.

Одной из главных задач, стоящих перед металлургическим производством, является повышение качества крупных стальных слитков за счет снижения дефектов литья, таких как структурная и химическая неоднородности, образование и неравномерное распределение неметаллических включений, усадочные дефекты и др. При формировании слитков происходят различные физические процессы: тепло- и массоперенос, распределение примесей, зарождение и рост кристаллов, усадка, образование включений неметаллического характера и др.

В свободных условиях формирования слитков (т.е. без посторонних воздействий на затвердевающий расплав) все перечисленные процессы протекают достаточно медленно. С учетом этого, является актуальным вопрос совершенствования технологии разливки стали на крупные слитки путем поиска новых методов физического воздействия на процессы их формирования. В данной работе авторы исследовали влияние термических и силовых воздействий на процесс кристаллизации и структурообразования модельных и реальных стальных слитков.

Как на зарождение и рост кристаллов, так и на размерные параметры структурных зон в стальных слитках оказывает влияние температурный градиент в жидкой фазе перед границей затвердевания, который определяется соотношением  $G = dt/dx$ . Он влияет на расстояние между ветвями дендритов первого и второго порядка, размеры зоны двухфазного состояния сплавов и другие характеристики процесса кристаллизации сплавов. Отношением градиента температуры к скорости кристаллизации  $G/R$  определяется характер структурной зоны слитков. При средних значениях этого отношения ( $G/R < 5,5 \cdot 10^7$ ) формируется столбчатая дендритная структура, а при более низких его значениях ( $G/R < 9 \cdot 10^3$ ) структура стремится стать равноосной [1].

Температурный градиент в жидкой фазе при отсутствии конвективного перемещения металла можно определить из следующего выражения [2]:

$$\frac{dt_{жс}}{dx} = \frac{q_{пер.}}{\lambda_{жс}}, \quad (1)$$

где  $q_{пер.}$  – тепло перегрева;

$\lambda_{жс}$  – теплопроводность жидкой фазы.

При затвердевании реальных слитков температурный градиент у границы затвердевания увеличивается за счет конвективного движения перегретого расплава и определяется из выражения [3]:

$$G = \frac{P_e \cdot q_{кр.}}{\rho \cdot C} = \frac{W \cdot q_{кр.} \cdot L}{\rho \cdot C \cdot a}, \quad (2)$$

где  $P_e$  – критерий Пекле, равный  $P_e = \frac{W \cdot L}{a}$ ;

$L$  – протяженность зоны двухфазного состояния сплава;

$C$  – теплоемкость сплава;

$a$  – коэффициент температуропроводности;

$W$  – скорость конвективного движения.

Увеличение градиента температур приводит к увеличению скорости кристаллизации. По данным Д. Д. Саратовкина, она определяется по зависимости [4]:

$$R = \frac{\lambda}{q_{кр.} \cdot \rho} \cdot G, \quad (3)$$

где  $\lambda$ ,  $\rho$  – теплопроводность и плотность расплава;

$q_{кр.}$  – теплота кристаллизации;

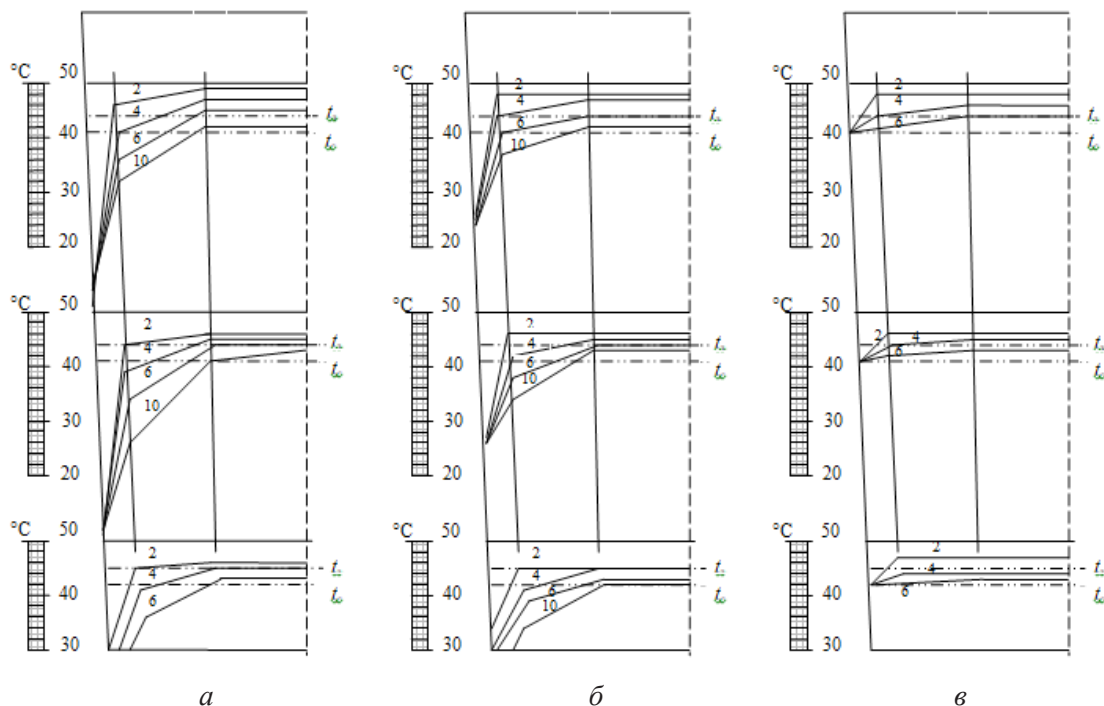
$G$  – градиент температуры у границы затвердевания.

Следует отметить, что в направлении от поверхности к оси слитка при его затвердевании происходит постепенное уменьшение температурного градиента, возникающего перед границей затвердевания. Данное изменение, в свою очередь, влияет на основные структурные характеристики слитка.

Авторы в процессе данной работы исследовали влияние скорости теплоотвода от затвердевающих слитков на характер распределения температур и скоростей конвективного потока, а также связь этих параметров с кинетикой продвижения фронта затвердевания, формой кристаллов и топографией их расположения по сечению слитков [5].

Из анализа графиков распределения температур по горизонтам затвердевающих слитков видно, что скоростью теплоотвода определяются значения температурного градиента (рис. 1). Можно отметить, что температура затвердевающего расплава снижается по направлению сверху вниз, а перегрев расплава полностью исчезает в районе нижнего сечения, причем вне зависимости от характера интенсивности теплоотвода.

Изучение термических полей в слитке в случае высокой скорости теплоотвода (критерий  $Bi \gg 1$ ) показывает наличие больших изменений температур по его сечению, что обуславливает одновременное протекание отдельных стадий процесса формирования слитка (рис. 1 а). Так, на второй минуте процесса наблюдаем полное снятие теплоты перегрева, образование затвердевшей корки по всей поверхности теплоотвода и ее охлаждение до температуры стенки модели. Аналогичная картина, хотя и с некоторой задержкой, характерна и для случая средней скорости теплоотвода (рис. 1 б). При низкой интенсивности теплоотвода ( $Bi \ll 1$ ) перепад температуры в сечении слитка небольшой, а в начале процесса даже меньше самого интервала кристаллизации (рис. 1 в). В связи с этим, процесс снятия тепла перегрева осуществляется в течение всего времени затвердевания слитка, что говорит о нахождении сплава в двухфазном твердо-жидком состоянии.



*a* – высокая скорость теплоотвода; *б* – средняя; *в* – низкая.  
Числа у кривых – время затвердевания, мин.

**Рис. 1.** Распределение температурных полей в поперечном сечении слитков на трех горизонтах

Интенсивность теплоотвода существенно влияет на ширину двухфазной зоны в слитке: она минимальна при  $Bi \gg 1$  (рис. 1 *a*) и охватывает практически все сечение слитка при  $Bi \ll 1$  (рис. 1 *в*). Визуальное исследование процесса кристаллизации слитка показывает, что двухфазная зона в нем имеет однородное строение, в котором не фиксируются ярко выраженные участки «твёрдо-жидкого» и «жидко-твёрдого» состояний.

Уменьшение скорости теплоотвода приводит к уменьшению градиента температур перед границей затвердевания, что говорит о снижении скорости отвода тепла от перегретых внутренних объемов расплава к границе затвердевания. Это, в свою очередь, снижает скорость перемещения фронта затвердевания вглубь слитка, что хорошо видно на кинетике перемещения изотерм солидуса (рис. 2).

Скорость перемещения изотерм солидуса от поверхности к оси слитка возрастает от верхнего горизонта к нижнему, отличаясь по абсолютной величине в зависимости от скорости теплоотвода. Наличие градиента температур по высоте слитка свидетельствует о непрерыв-

ном тепловом потоке и росте переохлаждения опускающихся вдоль границы затвердевания объемов расплава. Длительность их охлаждения определяется высотой модели и скоростью движения расплава вдоль ее поверхности.

Значения скоростей конвективных потоков вдоль фронта затвердевания рассчитывают по известной зависимости [6]:

$$W = \sqrt{g\beta H(t - t_{cm})}, \quad (4)$$

где  $H$  – расстояние от поверхности расплава или начала пограничного слоя;

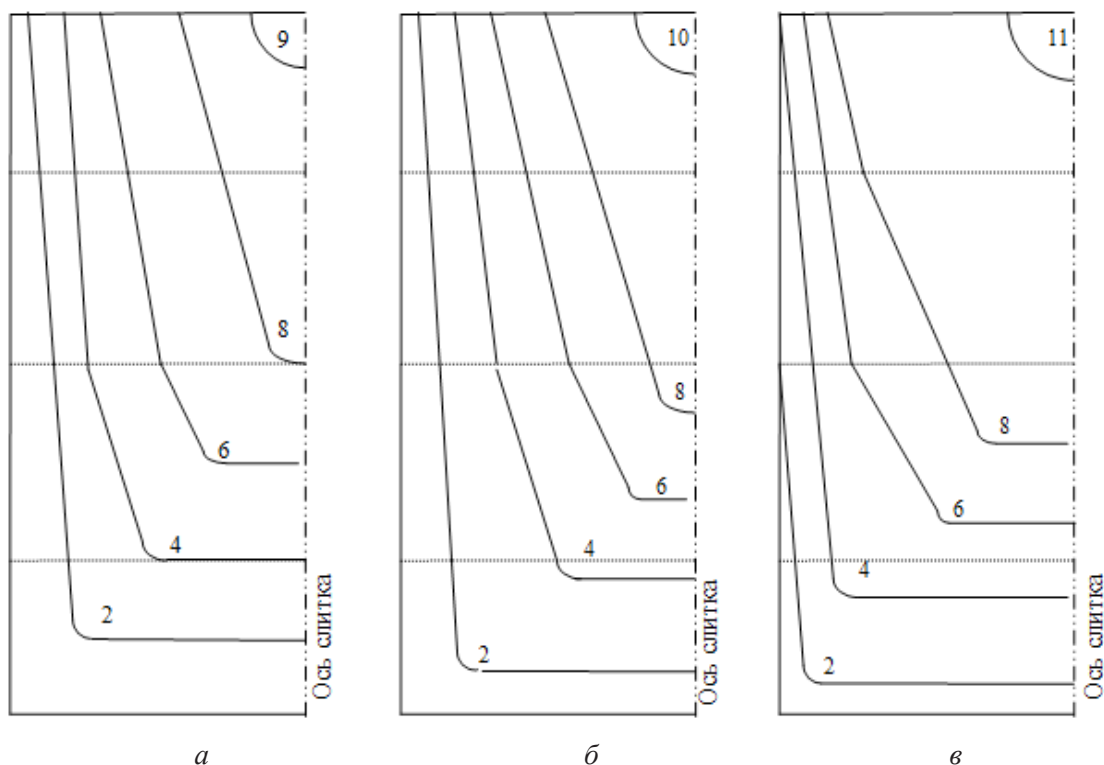
$g$  – ускорение свободного падения;

$\beta$  – коэффициент объемного расширения;

$t$  – температура расплава в потоке;

$t_{cm}$  – температура охлаждающей поверхности.

Интенсивность нисходящего потока возрастает по направлению сверху вниз, при этом значения скорости этого потока тем больше, чем выше скорость теплоотвода (рис. 3 *a*). За счет этого увеличиваются значения критерия Нуссельта, коэффициента теплоотдачи и интенсивность тепловых потоков от перегретых



*а* – высокая скорость теплоотвода; *б* – средняя; *в* – низкая.  
Числа у кривых – текущее время процесса, мин.

**Рис. 2.** Кинетика затвердевания слитков в условиях разной интенсивности теплоотвода

объемов расплавленного металла к поверхности охлаждения, а следовательно, возрастает и скорость кристаллизации (рис. 3 *б*).

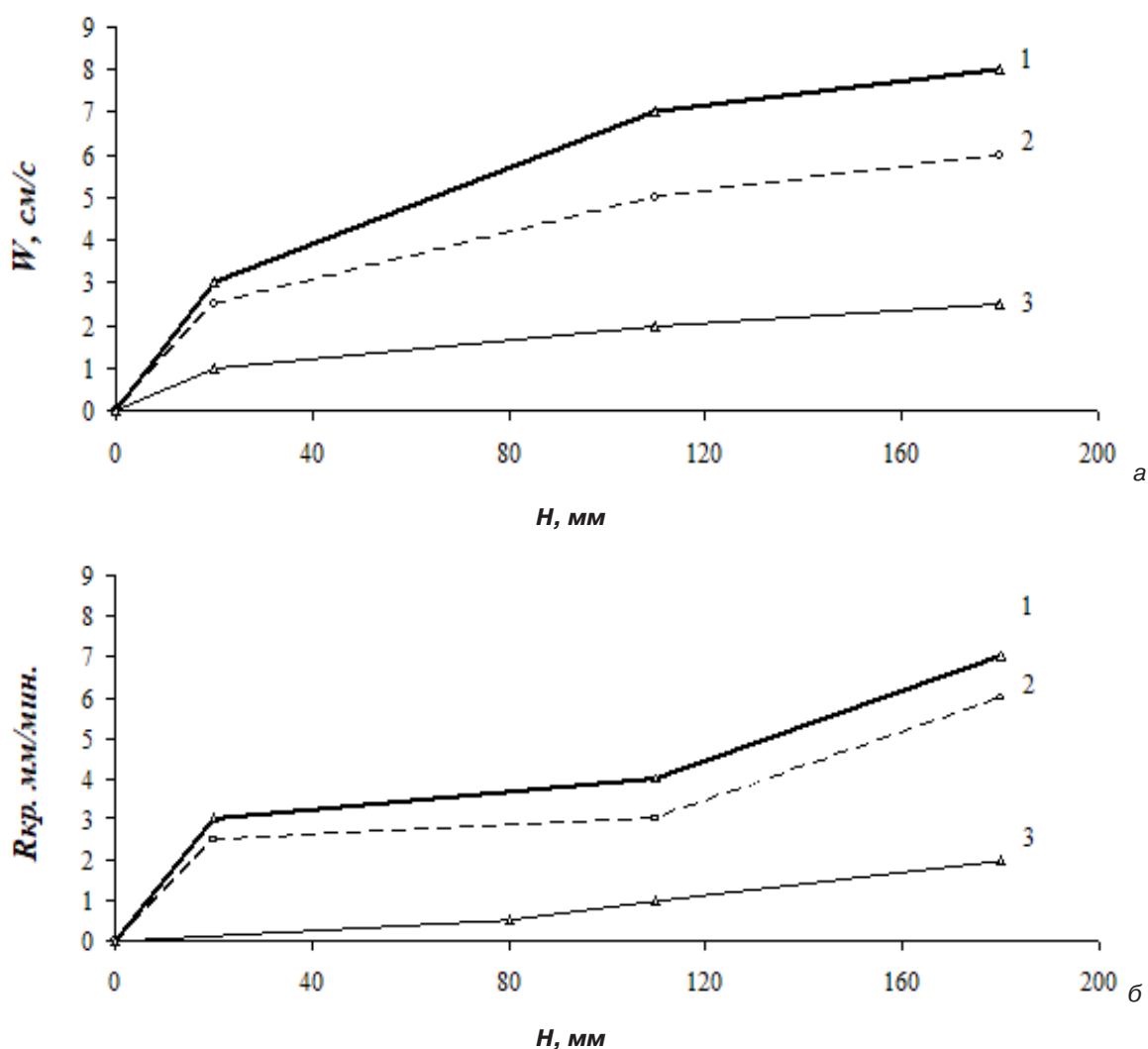
Следует отметить, что значительное изменение скорости кристаллизации наблюдается в верхнем горизонте слитка и в его нижней половине. В первом случае это обусловлено быстрым ростом скорости конвекции расплава (рис. 3 *а*) и малым тепловым сопротивлением затвердевшей корки (рис. 2). Во втором случае это объясняется существенным накоплением переохлажденных объемов расплавленного металла в нижней части слитка при его затвердевании, о чем свидетельствуют скорость продвижения фронта кристаллизации (рис. 2) в последующие периоды затвердевания и параметры по изменению объема затвердевшей части слитка (табл. 1).

От скорости теплоотвода зависит и характер затвердевания слитка. В случае интенсивного теплоотвода для большей части слитка наблюдаем последовательное затвердевание, и только ближе к оси слитка идет одновременно

последовательное и объемное затвердевание (рис. 4 *а*). А при умеренном или слабом теплоотводе в поперечном сечении слитков заметно сужается зона последовательного затвердевания и, соответственно, возрастает зона «смешанного» затвердевания (рис. 4 *б* и *в*).

Таким образом, на строение слитков влияет интенсивность теплоотвода, что обуславливает соответствующую ширину структурных зон. С возрастанием интенсивности теплоотвода, т.е. с повышением скорости охлаждения слитка, существенно увеличивается зона столбчатых кристаллов и уменьшается зона равноосных дендритов (участок объемного затвердевания).

Одними из важнейших характеристик первичной структуры литого металла являются ее плотность и дисперсность. Визуальные исследования за процессом формирования модельных слитков и фиксация параметров их структур показали, что чем выше линейная скорость кристаллизации, тем более плотной и дисперсной формируется первичная структура.



1 – высокая скорость теплоотвода; 2 – средняя; 3 – низкая.  
 а – скорость конвективных потоков; б – скорость кристаллизации

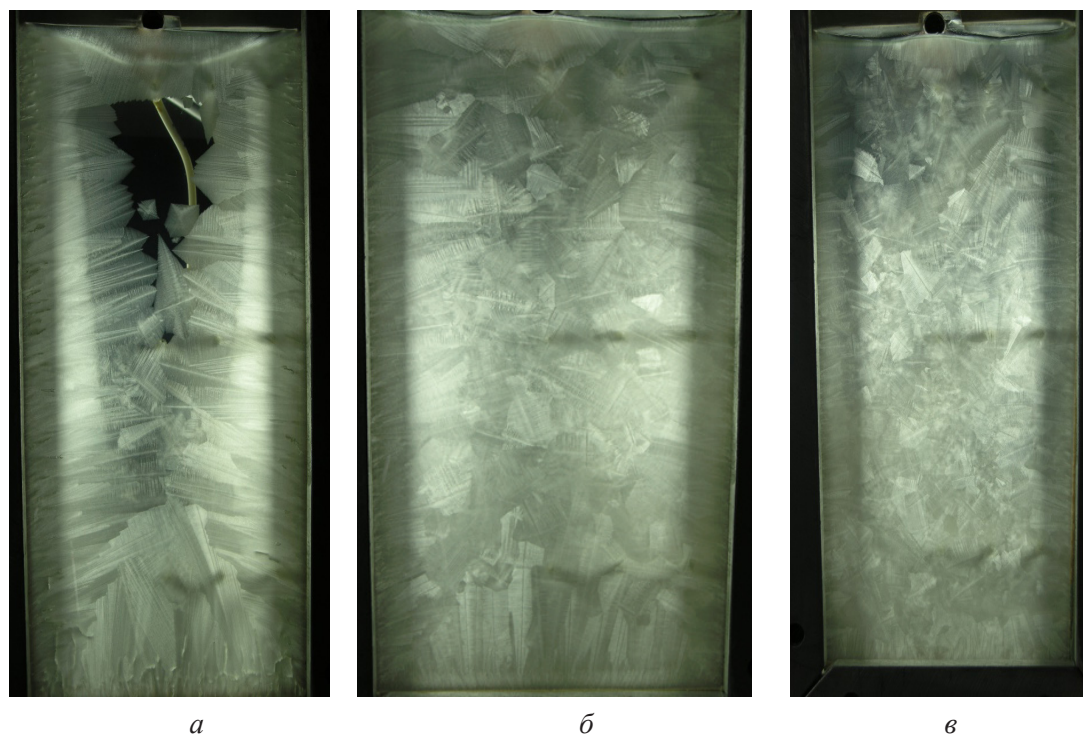
**Рис. 3.** Изменения скоростей конвективных потоков и кристаллизации по высоте затвердевающего слитка

С учетом ведущей роли конвекционных потоков в накоплении переохлажденных объемов расплава в нижнем горизонте слитков при их затвердевании, проведены исследования по влиянию подогрева дна слитка на теплофизические параметры процесса кристаллизации.

Таблица 1

Объемная доля затвердевшей части слитка, %

Характеристика теплоотвода	Объемная доля затвердевшей части через определенное время после начала затвердевания, %				Время полного затвердевания, мин.
	2 мин.	4 мин.	6 мин.	8 мин.	
Интенсивный (4°C)	24,6	44,6	67,4	88,7	9
Умеренный (22,5°C)	14,6	35,8	59,0	84,2	10
Слабый (42°C)	3,4	18,6	38,3	60,7	11



а – высокая скорость теплоотвода; б – средняя; в – низкая.

**Рис. 4.** Формирование структуры слитка в обычных условиях затвердевания в зависимости от интенсивности теплоотвода

Показано, что при подогреве донной части модели возникают восходящие потоки, обеспечивающие одинаковое значение температур по высоте слитка за счет свободной циркуляции внутренних объемов расплава практически до конца затвердевания, соответственно, препятствует зарождению и росту кристаллов в его сердцевине. Перемещение фронта кристаллизации от охлаждаемых стенок модели при подогреве дна идет практически с одинаковой скоростью по высоте слитка, а от его дна затвердевание вообще отсутствует (рис. 5 и табл. 2).

В случае подвода тепла к донной части слитка только на 9 минуте его затвердевания происходит смыкание встречных параллельных фронтов кристаллизации и формируется плотная кристаллическая структура практически по всему сечению, при этом центральная зона равноосных кристаллов практически отсутствует. В горизонте над перегретым дном сохраняется зона жидкого расплава, затвердевающая только после прекращения подвода тепла (рис. 5 а).

Условия теплоотвода оказывают существенное влияние на формирование кристаллической структуры слитков [7]. Влияет интенсивность охлаждения и на расположение в слитках неметаллических включений. Исключение оксидных включений из расплава стали при затвердевании слитков осуществляется при их всплывании по законам седиментации частиц в жидкости [8]. Режим движения частицы сферической формы определяется отношением инерционных сил к силам вязкого сопротивления среды и зависит от величины критерия Рейнольдса. При значениях критерия Рейнольдса  $Re > 1$  (движение в вязкой среде) включение движется со скоростью, описываемой уточненным уравнением Стокса [9]:

$$v_{\text{вс.}} = \frac{qd^2(\rho_m - \rho_v)}{18\eta K_\phi} + W_k \cos y, \quad (5)$$

где  $d$  – диаметр включения;

$\rho_m$  – плотность металла;

$\rho_v$  – плотность включения;

$\eta$  – коэффициент динамической вязкости;

$K_\phi$  – коэффициент сопротивления формы;



Таблица 2

Параметры затвердевания модельного слитка с подогревом дна на 4-й минуте затвердевания

Расстояние от дна слитка, мм	Толщина корочки ( $\zeta$ ), мм	Коэффициент затвердевания ( $\kappa$ ), мм/мин	Скорость кристаллизации ( $R$ ), мм/мин.
210	15	7,5	1,88
120	17	8,5	2,13
40	20	10,0	2,50
над дном слитка	-	-	-

$W_{\kappa}$  – скорость конвективного движения металла;

$\gamma$  – угол отклонения потока от оси слитка.

Из формулы (5) следует, что величина скорости всплывания ( $v_{всп.}$ ) неметаллического включения уменьшается при увеличении вязкости металла и снижении скорости его

конвективного движения. То есть неметаллические частицы, попавшие в охлажденную вязкую зону слитка, не смогут всплыть и останутся в этой зоне.

Подвод тепла к донной части слитка способствует предотвращению формирования внизу слитка зоны охлажденного вязкого рас-

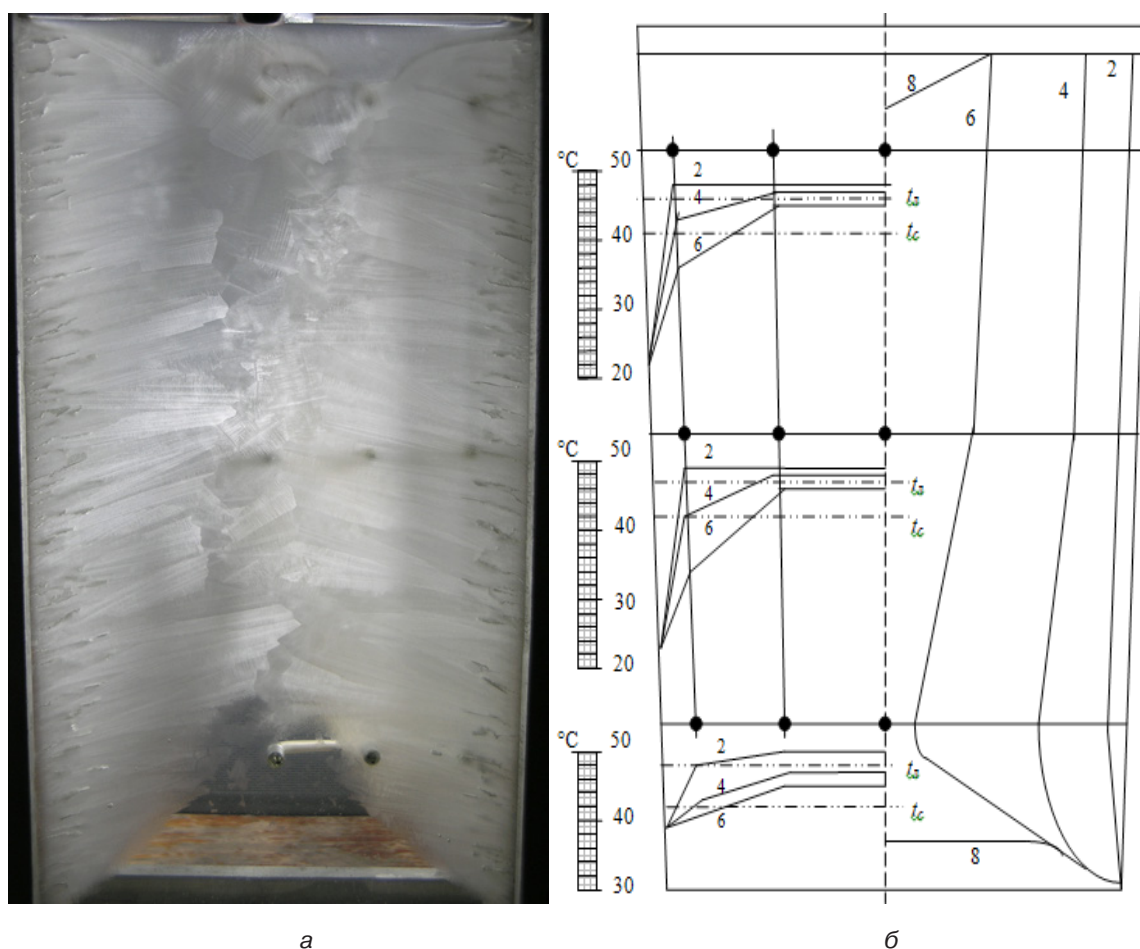


Рис. 5. Кристаллическая структура (а) и параметры затвердевания (б) модельного слитка при подогреве его донной части

плава стали и тем самым создает условия для всплытия неметаллических включений. Расчетные данные с применением результатов физического моделирования показали, что при прочих равных условиях подогрев донной части слитка до 50°C повышает скорость всплытия включений в расплаве камфена в 2,3 раза по сравнению с обычными условиями затвердевания.

Высокоэффективным вариантом получения слитков с мелкокристаллической структурой, с хорошей химической и структурной однородностью, а также с наименьшим количеством неметаллических включений является вибрационное воздействие на затвердевающие сплавы.

Для оценки воздействия упругих волн на процессы зарождения и рост кристалла рассмотрим их в условиях свободной кристаллизации, то есть без внешних физических воздействий. При кристаллизации промышленных сплавов в основном происходит гетерогенное зародышеобразование по модели Шмидта-Томаса (рис. 6). Это объясняется тем, что в металлических расплавах, получаемых в промышленных печах, имеется огромное количество инородных твердых частиц в виде продуктов раскисления, модификаторов и др. примесей, которые и становятся центрами кристаллизации [10].

Величина переохлаждения, требуемая для образования гетерогенных зародышей, может быть определена по известной зависимости [11]:

$$\Delta t = t_e - t_k = \frac{2\sigma \cdot M \cdot t_e \cdot \nu}{q_{кр} \cdot r}, \quad (6)$$

где  $t_e$  и  $t_k$  – температура кристаллизации сплава и ее значение при начале кристаллизации переохлажденного расплава;

$r$  – радиус гетерогенного зародыша;

$\sigma$  – поверхностное натяжение на границе фаз;

$M, \nu$  – максимальная масса и микрообъем зародыша;

$q_{кр}$  – теплота кристаллизации.

По существу, технология вибрационной обработки металлических сплавов заключается в силовом воздействии на затвердевающий расплав, т.е. вводом дополнительной энергии упругих волн, которая определяется из выражения [12]:

$$dF_{виб.} = \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot A^2 \cdot dV, \quad (7)$$

где  $\rho$  – плотность среды;

$\omega, A$  – частота и амплитуда упругих волн;

$dV$  – локальный объем среды, на которую воздействует вибрационная энергия.

Подводимая на затвердевающие слитки вибрационная энергия расходуется на образование огромного количества дополнительных центров кристаллизации за счет разрушения дендритов на фронте затвердевания и кавитационного зародышеобразования в объеме расплава. В результате этого формируется дисперсная равномерная кристаллическая структура слитка по всему его сечению (рис. 7 б). В то же время структура слитка, полученная

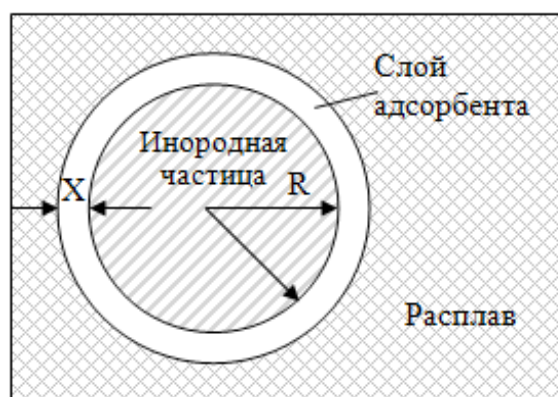


Рис. 6. Гетерогенное зародышеобразование по модели Шмидта – Томаса

без вибрации, состоит из грубых столбчатых и равноосных кристаллов (рис. 7 а).

При этом и время затвердевания слитков, подвергающихся вибрации, значительно меньше, чем при обычных условиях затвердевания. Это обусловлено, во-первых, усилением перемешивания затвердевающего расплава при вибрации. Во-вторых, при этом и тепловой барьер имеет постоянное значение до конца затвердевания, т. е. толщина затвердевшей корки не увеличивается за счет ее разрушения. Таким образом, очевидна роль вибрации в интенсификации передачи тепла перегрева и кристаллизации к изложнице.

Вторым источником более интенсивной кристаллизации при вибрации является выделение переохлажденных микрообъемов расплава вокруг каждого плавающего обломка кристаллов, величина которого определяется его размером [11]:

$$\Delta t = (\sigma_{m-жс} \cdot t_e) / r\rho \cdot q_{кр.}, \quad (8)$$

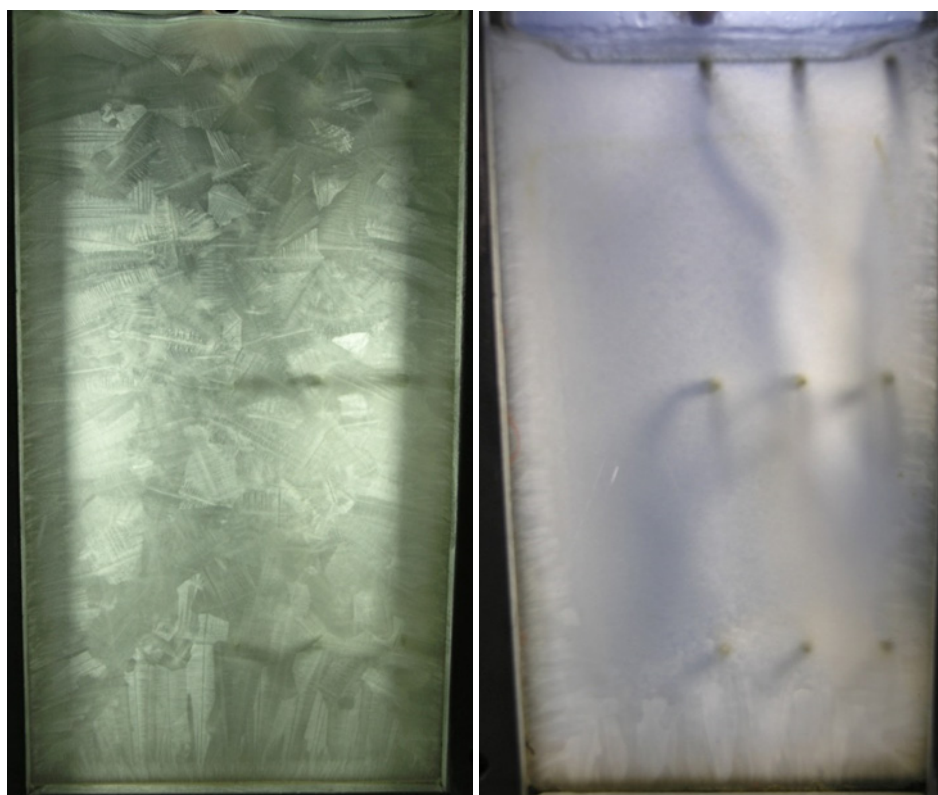
где  $\sigma_{m-жс}$  – межфазное натяжение;

$t_e$  – равновесная температура кристаллизации сплава;

$r$  – размер плавающего кристалла;

$\rho$  и  $q_{кр.}$  – плотность расплава и удельная теплота кристаллизации.

Эффективность вибрационного воздействия на процессы кристаллизации и формирования структуры сплавов была подтверждена на реальных стальных слитках (рис. 8). В представленных макроструктурах слитков из нержавеющей стали X18H9T видна принципиальная разница в форме и распределении кристаллов по их сечениям. Макроструктура контрольного слитка состоит в основном из крупных столбчатых кристаллов и узкой зоны равноосных кристаллов в верхней осевой его части (рис. 8 а). На макроструктуре слитка, подвергнутого вибрационному воздействию, наоборот, видим незначительную зону мелких столбчатых кристаллов у его теплоотводящей поверхности и следующую за ней зону мелких равноосных кристаллов во всей центральной части слитка (рис. 8 б).



а

б

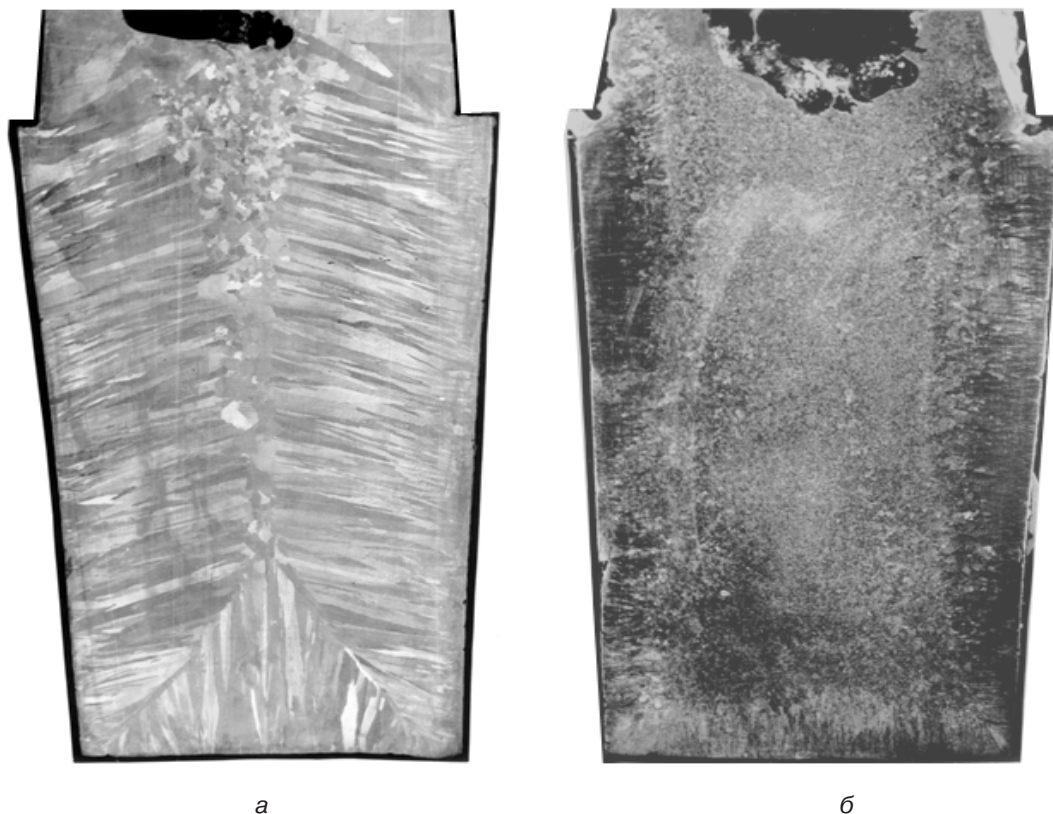
Рис. 7. Кристаллические структуры контрольного (а) и вибрируемого (б) слитков модельного сплава

Температурные замеры (температура затвердевающих расплавов, температура стенок изложниц), выполненные в ходе кристаллизации исследуемых слитков, позволили рассчитать следующие параметры их затвердевания: градиенты температур по сечениям; коэффициенты теплоотдачи от затвердевающих расплавов к изложницам; скорость кристаллизации; толщину затвердевшей корки и т.п. В таблице 3 представлены значения вышеперечисленных параметров затвердевания для слитков из стали 60. Эти данные свидетельствуют о том, что, при прочих равных начальных условиях затвердевания, вибрация обуславливает существенное их изменение. Например, внутренняя стенка изложницы при действии вибрации нагревается со скоростью 138 град./мин., а без вибрации – со скоростью 82 град./мин. Это свидетельствует о значительном усилении интенсивности теплопередачи от слитка к изложнице при вибрации. Об этом же говорит и значительное увеличение коэффициента теплоотдачи в начальные периоды затверде-

вания в сравнении с контрольным вариантом. Повышение интенсивности теплоотвода от затвердевающего слитка обуславливает рост скорости кристаллизации и, как следствие, увеличение толщины затвердевшей корки (табл. 3).

Указанные изменения в параметрах затвердевания опытного слитка под действием вибрации оказали существенное влияние на характеристики его дендритной структуры (табл. 4). Данные результаты доказывают эффективность использования вибрационного воздействия для управления процессами кристаллизации и структурообразования стальных слитков. Если эффективность воздействия вибрации на теплофизические параметры затвердевания для слитков из стали X18H9T находилась примерно на том же уровне (в процентном отношении), что и для стали 60, то ее влияние на формирование кристаллической структуры было существенно выше (табл. 4, рис. 8).

Следует отметить, что имеются данные, согласно которым различными авторами по-



**Рис. 8.** Макроструктуры продольных темплетов контрольного (а) и вибрируемого (б) слитков из нержавеющей стали X18H9T

лучены противоречивые результаты по влиянию вибрации на процессы кристаллизации и структурообразования металлических сплавов [4, 12]. Авторами в ходе проведенных исследований установлено, что на эффективность воздействия вибрации на формирование структур слитков влияют прочностные характеристики конкретного сплава в области температур кристаллизации. Было установлено, вибрационному воздействию хуже поддаются те сплавы, кристаллы которых при температуре кристаллизации имеют высокие пластические свойства. Этот результат был подтвержден при вибрационной обработке слитков из стали 20, пластические свойства которой при температуре кристаллизации заметно выше, чем у стали 60 [5].

Противоречивость полученных различными авторами результатов по влиянию вибрационного воздействия на процессы кристаллизации и формированию структур металлических сплавов обусловлено, на наш взгляд, отсутствием системности при исследованиях, в ходе которых использовались сплавы с различными свойствами, разный тип вибрации и различные теплофизические условия затвердевания и т. п.

С целью обеспечения вышеперечисленных условий, авторами проведено физическое моделирование с использованием однотипных вибраторов, одних и тех же моделирующих

сред (камфен, салол, дифенил), обеспечением равных температурных условий затвердевания и т. д. В ходе исследований установлено, что, независимо от условий охлаждения и типа сплава, вибрационное воздействие на процессы кристаллизации заключается в проявлении следующих эффектов:

- рост числа центров кристаллизации за счет механического разрушения и дробления кристаллов, растущих на фронте кристаллизации;
- зарождение центров кристаллизации в объеме расплава вследствие кавитации;
- разрушение кристаллов при схлопывании кавитационных каверн.

При подводе упругих волн к расплавленному металлу происходит мгновенное изменение массовых сил в объеме затвердевающего расплава и возникновение больших градиентов давления на неподвижные ветви дендритов. Градиенты давлений, возникающие на границе фаз, вызывают разрушение первичных и вторичных ветвей дендритов. Величина этого давления зависит от амплитуды ( $A$ ) и частоты колебаний ( $\omega$ ), изменяющих силы динамического воздействия на твердо-жидкую зону затвердевающего сплава и определяется по зависимости [13]:

$$P = \pm \rho A \omega^2 H, \quad (9)$$

Таблица 3

Параметры затвердевания слитков из стали 60

Параметры затвердевания	$\tau$ , мин			
	1	5	9	13
$\Delta t = t_{кр.} - t_{н.}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$\frac{115}{170}$	$\frac{170}{190}$	$\frac{215}{230}$	$\frac{250}{260}$
$\xi = \hat{e}\sqrt{\tau}, \text{ см}$	$\frac{1,95}{1,80}$	$\frac{4,68}{4,03}$	$\frac{5,85}{5,40}$	$\frac{7,0}{6,5}$
$G = \frac{\Delta t}{\xi}, \text{ } ^\circ\text{C/см}$	$\frac{59}{94}$	$\frac{36}{47}$	$\frac{36}{42}$	$\frac{36}{40}$
$R, \text{ см/мин.}$	$\frac{0,97}{0,90}$	$\frac{0,44}{0,40}$	$\frac{0,33}{0,30}$	$\frac{0,27}{0,25}$
$\alpha, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C}$	$\frac{0,85}{0,2}$	$\frac{0,2}{0,1}$	$\frac{0,05}{0,05}$	$\frac{0,05}{0,05}$

Числитель – с вибрацией; знаменатель – без вибрации.

Таблица 4

Параметры дендритной структуры слитков из стали 60

№№ слитка	Ширина зоны столбчатых дендритов L, мм	Размеры столбчатых дендритов, мм		Размеры равноосных дендритов, мм		Количество дендритов на площади 225 мм <sup>2</sup> (15x15)
		длина	ширина	длина	ширина	
1	58	5,0	0,45	2,35	2,15	85-100
2	39	2,9	0,18	1,5	1,3	180-200

Примечание: 1 – без вибрации; 2 – с вибрацией

где  $\rho$  – плотность среды;

$H$  – расстояние от открытой поверхности расплава.

Разрушение ветвей дендритов осуществляется под действием изгибающих напряжений, возникших под давлением упругой волны. Максимальное напряжение изгиба  $\sigma_u$ , обусловленное сопротивлением дендрита, представляющего собой консольную балку, ударной волне вязкой жидкости, определяется из выражения [13]:

$$\sigma_u = \frac{8\pi^2 d^2 L^2 \rho \omega^2 \cdot A}{b^3}, \quad (10)$$

где  $d$  – диаметр ветви дендрита;

$L$  – длина дендрита;

$\rho$  – плотность дендрита;

$\omega$  – частота вибрации;

$A$  – амплитуда упругих волн;

$b$  – диаметр шейки дендрита.

Очевидно, что разрушение дендритов наступает при соблюдении следующего условия:

$$\sigma_u \geq \sigma_e, \quad (11)$$

где  $\sigma_e$  – предел прочности дендрита при температуре кристаллизации.

Замеры параметров затвердевания модельных слитков, выполненные в ходе физического моделирования на камфене, показали, что разрушение дендритов начинается при следующих их размерах: длина  $L = 12$  мм; диаметр  $d = 1$  мм; диаметр шейки  $b = 1$  мм при параметрах вибрации:  $A = 1$  мм;  $\omega = 40$  Гц. По зависимости (10) определяем напряжения изгиба ( $\sigma_u$ ), возникающие в дендритах, при которых они начинают разрушаться:

$$\sigma_u = \frac{8 \cdot 3,14^2 \cdot (10^{-3})^2 \cdot 0,012^2 \cdot 845 \cdot 10^{-3} \cdot 40^2}{(10^{-3})^3} = 15356 \text{ Па} = 0,15 \text{ кг} / \text{см}^2$$

Максимальное напряжение в опасном сечении дендрита определяется из выражения [14]:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W}, \quad (12)$$

где  $M_{\max} = P L^2 d$  – максимальный момент силы, действующий на дендрит;

$W = \frac{\pi d^3}{32}$  – момент сопротивления сечения дендрита.

Подставляя  $M_{\max}$  и  $W$  в выражение (12), получаем:

$$\sigma = \frac{32 P L^2}{\pi d^2}, \quad (13)$$

где  $P$  – давление на дендрит.

Принимая предел прочности дендрита камфена  $\sigma$  равным  $\sigma_u$  ( $\sigma \approx \sigma_u = 0,15 \text{ кг/см}^2$ ), определяем из (13) величину критического давления ( $P_{кр.}$ ) на дендрит, необходимого для его разрушения:

$$P_{кр.} = \frac{\pi d^2 \sigma}{32L^2} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2 \cdot 0,15}{32 \cdot 1,2^2} = 10^{-4} \text{ кг/см}^2$$

По зависимости (9) определяем величину минимального давления упругой волны на дендриты при оптимальных параметрах вибрации ( $A = 1 \text{ мм}$ ,  $\omega = 63 \text{ Гц}$ ):

$$P_{\min} = \pm 845 \cdot 10^{-3} \cdot 63^2 \cdot 0,005 = 16,9 \text{ Па} = 1,69 \cdot 10^{-4} \text{ кг/см}^2$$

Результаты расчетов с очевидностью свидетельствуют о возможности разрушения дендритов под действием изгибающих давлений упругой волны.

На рис. 9 представлено изменение величины давления упругой волны в зависимости от параметров вибрации. Зная величину критического давления, необходимого для разрушения дендритов камфена, по этому графику можно подобрать оптимальные параметры вибрации. Например, при амплитуде вибрации  $A=0,5 \text{ мм}$  оптимальная частота имеет значение  $\omega \geq 70 \text{ Гц}$ .

Выполним аналогичный расчет для стальных слитков для уточнения соответствия параметров вибрационного воздействия критическим условиям, в ходе которых происходит разрушение дендритов и формирование дисперсной кристаллической структуры. Разными авторами в ходе исследований было установлено, что с приближением температуры углеродистых сталей к интервалу кристаллизации происходит резкое снижение как предела их прочности  $\sigma_g$  (до  $5 \div 10 \text{ кг/см}^2$ ), так и пластичности. Так, при температуре  $1460^\circ\text{C}$  для ст. 3 предел прочности  $\sigma_g$  имеет значение  $10 \text{ кг/см}^2$ , для ст. 45- $7 \text{ кг/см}^2$ , а для ст. 80- $3,5 \text{ кг/см}^2$  [15]. В расчетах для ст. 60 принимаем предел прочности  $\sigma_g$  в области интервала кристаллизации равным  $6 \text{ кг/см}^2$ .

В ходе металловедческих исследований были получены следующие параметры дендритной структуры слитка из ст. 60 при вибрационной обработке (табл. 4):  $L = 2,9 \text{ мм}$ ;  $d = e = 0,18 \text{ мм}$ . При этих параметрах дендритов происходит их разрушение в результате вибрационного воздействия.

По зависимости (10) определяем напряжения изгиба ( $\sigma_u$ ), возникающие в дендритах при экспериментальных параметрах вибрации ( $A = 2,5 \text{ мм}$ ;  $\omega = 100 \text{ Гц}$ ):

$$\sigma_u = \frac{8 \cdot 3,14^2 \cdot (0,18 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,0029^2 \cdot 7800 \cdot 100^2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{(0,18 \cdot 10^{-3})^3} = 718 \text{ кПа} = 7,18 \text{ кг/см}^2$$

Видно, что  $\sigma_u > \sigma_g$ , из-за чего и происходит их разрушение.

Зная предел прочности дендритов ( $\sigma_g$ ), из зависимости (13) находим критическое давление  $P_{кр.}$ , которое необходимо приложить к дендриту, чтобы его разрушить:

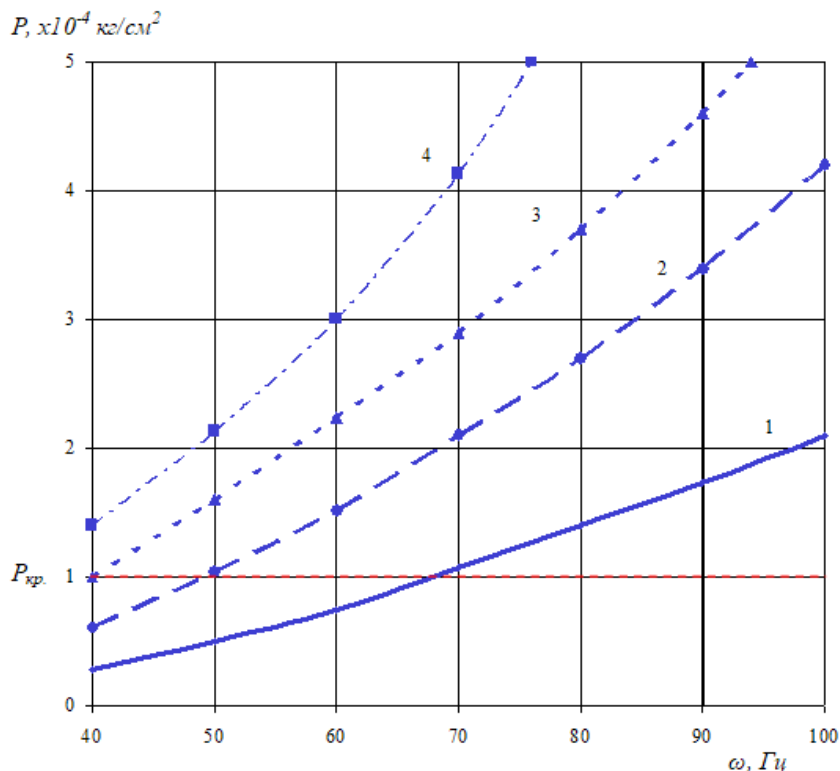
$$P_{кр.} = \frac{\pi d^2 \sigma_g}{32L^2} = \frac{3,14 \cdot 0,018^2 \cdot 6}{32 \cdot 2,9^2} = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ кг/см}^2$$

При этом минимальное значение давления упругой волны на дендриты при данных параметрах вибрации равно (зависимость 9):

$$P = \pm 7200 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 100^2 \cdot 10^{-3} = 180 \text{ Па} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/см}^2.$$

Очевидно, что вибрационное давление значительно больше критического, т.е. под его воздействием возможно разрушение дендритов на фронте кристаллизации слитков из стали 60. Аналогичные расчеты для слитков из нержавеющей стали X18H9T также подтверждают возможность разрушения дендритов на фронте затвердевания под действием знакопеременных давлений упругой волны, что наглядно мы наблюдаем на макроструктурах слитков (рис. 8).

Несмотря на то, что для сжатия однородной жидкости требуются значительные усилия, импульсы давлений, возникающие при вибрационном воздействии, деформируют расплав. Связано это с тем, что кристаллизующийся расплав состоит из твердой, жидкой и газообразной фаз. Вследствие изменения объема газовой фазы возможно сжатие расплава в фазе положительно-



1 – амплитуда  $A=0,5$  мм; 2 –  $A=1,0$  мм; 3 –  $A=1,5$  мм; 4 –  $A=2,0$  мм

**Рис. 9.** Изменение величины давления упругой волны на дендрит в зависимости от параметров вибрации

го давления вибрации. В следующий за этим момент отрицательного давления происходит образование пустот, заполненных газом. При устранении растягивающих усилий эти полости (так называемые «кавитационные каверны») захлопываются со значительным мгновенным повышением локального давления. В работе [14] показано, что в экспериментах с водой кавитационные давления достигают значений  $10000 \div 13000$  атм., а в металлах они будут существенно больше. Кристаллы, попадающие под воздействие кавитационных давлений, разрушаются и мелкой россыпью оседают в донную часть слитка. Попадание этих неустойчивых первичных образований твердой фазы в более холодные нижние участки расплава обеспечивает сохранение и их рост до устойчивых размеров [5].

Следует отметить, что кавитационный эффект заключается как в разрушении кристаллов в объеме расплава, так и в их зарождении. Формирование зародышей вследствие вибрационного воздействия может происходить или

вследствие повышения равновесной температуры кристаллизации в результате увеличения давления при захлопывании кавитационных пузырьков (газовая кавитация), или из-за охлаждения поверхности пузырька при его росте (паровая кавитация) [16].

Таким образом, выполненные авторами эксперименты на прозрачных физических моделях и натуральных слитках, а также проведенные расчеты и анализ свидетельствуют, что механизм вибрационного воздействия заключается в следующих процессах:

а) разрушение и дробление дендритов, растущих на фронте кристаллизации, под действием знакопеременных изгибающих давлений упругой волны;

б) зарождение кристаллов в объеме кристаллизующегося расплава вследствие кавитации;

в) разрушение дендритов в расплаве и на фронте кристаллизации под действием давлений, возникающих в результате схлопывания кавитационных каверн.



#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Тиллер В., Джексон К., Чалмерс Б. и др.* Физическое металловедение. Том 2. М.: Мир, 1967. 490 с.
2. *Чалмерс Б.* Теория затвердевания. М.: Metallurgy, 1968. 288 с.
3. *Флемингс М. С.* Процессы затвердевания. М.: Мир, 1977. 423 с.
4. *Ефимов В. А., Эльдарханов А. С.* Технологии современной металлургии. М.: Новые технологии, 2004. 784 с.
5. *Нурадинов А. С., Нахаев М. Р.* Процессы кристаллизации и формирования структуры литых заготовок. Грозный: Издательство ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет», 2020. 170 с.
6. *Себиси Т., Бредшоу П.* Конвективный теплообмен. М.: Мир, 1987. 590 с.
7. *Нурадинов А. С., Уздиева Н. С., Балатханова Э. М.* Математическое моделирование процессов формирования литых заготовок при непрерывной разливке стали // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XV. №2 (16). 2019. С. 56-66.
8. *Ландау Л. Д., Лившиц Е. М.* Механика сплошных сред. М.: Гостехиздат, 1954. 796 с.
9. *Itoh Y., Okajima T., Tashiko K.* On Refining of Solidification of Ferritic Stainless Steel by Vibration Method // Transaction of the Iron and Steel Institute of Japan. 1981. V. 21. №6. P. 397-404.
10. *Шмидт-Томас К. Г.* Metal science for mechanical engineering. М.: Metallurgy, 1995. 349 с.
11. *Салли И. В., Фалькевич Э. С.* Управление формой роста кристаллов. Киев: Наук. Думка, 1989. С. 109-110.
12. *Ефимов В. А., Эльдарханов А. С.* Современные технологии разлива и кристаллизации сплавов. М.: Машиностроение, 1998. 360 с.
13. *Campbell I.* Effects of vibration during Solidification // Internationale Metals Reviews. 1981. №2. P. 71-108.
14. *Ефимов В. А.* Перспективы развития работ по применению внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся расплав // Влияние внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся металл. Киев: Наук. Думка, 1983. С. 3-22.
15. *Ефимов В. А.* Разливка и кристаллизация стали. М.: Metallurgy, 1976. 552 с.
16. *Смирнов А. Н., Пилюшенко В. Л., Момот С. В. и др.* Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях. Донецк: Изд-во «ВИК», 2002. 169 с.

## THE USE OF EXTERNAL PHYSICAL INFLUENCE TO REGULATE THE FORMATION OF THE STRUCTURE OF STEEL INGOTS

© <sup>1</sup> S. S-S. Akhtaev, <sup>1</sup> A. S. Nuradinov, <sup>2</sup> M. R. Nakhaev, <sup>1</sup> N. S. Uzdieva

<sup>1</sup>GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

<sup>2</sup>Chechen State University, Grozny, Russia

In this paper, the influence of temperature and force parameters of external influence on the crystallization and structure formation of ingots from model and real alloys is investigated. It is shown that the rate of crystal nucleation and growth, as well as the size of the structural zones in the ingots, can be controlled by changing the temperature gradient that occurs in the liquid phase before the solidification boundary. You can control the temperature gradient along the cross-section of the solidifying melt by adjusting the intensity of the heat sink, as well as differentiating the heat sink along the perimeter of the forming ingot. It is established that the ratio of the temperature gradient to the crystallization rate –  $G/R$  depends on the formation of a particular structural zone of ingots. The effectiveness of the influence of vibration on the formation of the structure of the ingots under study is clearly proved. The mechanism of vibration influence on the processes of crystallization and formation of ingot structures is determined, which consists in the manifestation of the following effects: in the destruction and crushing of dendrites growing at the crystallization front under the action of alternating bending pressures of an elastic wave; in the nucleation of crystals in the volume of the crystallizing melt due to cavitation; in the destruction of dendrites in the melt and at the crystallization front under the action of pressures resulting from the collapse of cavitation cavities.

**Keywords:** physical modeling, ingots, heat sink intensity, heat and mass transfer, non-metallic inclusions, convective flows, crystallization, vibration, structure.

### REFERENCES

1. Tiller, V., Jackson, K., Chalmers, B. and others (1967). Fizicheskoe metallovedenie. Physical metal science, volume 2. Mir, Moscow, 490 p.
2. Chalmers, B. (1968) Teoriya zatverdevaniya. Metallurgiya. [Theory of solidification. Metallurgy], Moscow, 288 p.
3. Flemings, M. S. (1977) Protsessy zatverdevaniya. [Solidification processes]. Mir, Moscow, 423 p.
4. Efimov, V. A. and Eldarkhanov, A. S. (2004) Tekhnologii sovremennoi metallurgii. Novye tekhnologii. [Technologies of modern metallurgy. New technologies]. Moscow, 784 p.
5. Nuradinov A. S. and Nakhaev M. R. (2020) Protsessy kristallizatsii i formirovaniya struktury litykh zagotovok. Grozny: Izdatel'stvo FGBOU VO «Chechenskii gosudarstvennyi universitet». [The processes of crystallization and formation of the structure of cast billets. Publishing House of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Chechen State University”, Grozny, 170 p.
6. Sebisy, T. and Bradshaw, P. (1987) Konvektivnyi teploobmen. [Convective heat exchange]. Mir, Moscow, 590 p.
7. Nuradinov A. S., Uzdieva N. S., and Balatkhanova E. M. (2019) ‘Matematicheskoe modelirovanie protsessov formirovaniya litykh zagotovok pri nepreryvnoi razlivke stali’. Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki, [Mathematical modeling of the processes of forming cast billets during continuous casting of steel. Gerald of GSTOU. Technical Sciences], volume XV, No. 2 (16), pp. 56-66.
8. Landau, L. D. and Livshits, E. M. (1954) Mekhanika sploshnykh sred. [Continuum mechanics]. Gostekhizdat, Moscow 796 p.

9. Itoh, Y., Okajama, T. and Tashiko, K. (1981) 'On Refining of Solidification of Ferritic Stainless Steel by Vibration Method'. *Transaction of the Iron and Steel Institute of Japan*. V. 21. №6, pp. 397-404.
10. Schmidt-Thomas, K. G. (1998) *Metallovedenie dlya mashinostroeniya. Metallovedenie dlya mashinostroeniya*. Metallurgiya, Moscow, 349 p.
11. Sally, I. V. and Falkiewicz, E. S. (1989) *Upravlenie formoi rosta kristallov*. [Management of a form of crystal growth]. Nauk. Dumka, Kiev, pp. 109-110.
12. Efimov A.V., Eldarkhanov, A. S. (1998) *Sovremennye tekhnologii razlivki i kristallizatsii splavov*. [Modern technologies of casting and crystallization of alloys]. Moscow, 360 p.
13. Campbell, I. (1981) 'Effekts of vibration during Solidification'. *Internationale Metals Reviere*. №2, pp. 71-108.
14. Efimov, V. A. (1983) *Perspektivy razvitiya rabot po primeneniyu vneshnikh vozdeistvii na zhidkii i kristallizuyushchiysya rasplav. Vliyanie vneshnikh vozdeistvii na zhidkii i kristallizuyushchiysya metall*. [Prospects for the development of works on the application of external influences on liquid and crystallizing melt. Influence of external influences on liquid and crystallizing metal]. Kiev: Nauk. Dumka, p. 3-22.
15. Efimov, V. A. (1976) *Razlivka i kristallizatsiya stali*. [Casting and crystallization of steel]. Metallurgy. Moscow. 552 p.
16. Smirnov, A. N., Pilyushenko, V. L. and Momot, S. V. and others (2002) *Zatverdevanie metallichesкого расплава pri vneshnikh vozdeistviyakh*. [Solidification of the metal melt under external influences]. Publishing house "VIC", Donetsk, 169 p.

## УЧЕТ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СУЗУНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© А.Г. Каграманов, М.И. Касумов, Н.Д. Булчаев, А.Ш. Халадов  
ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Вследствие малоизученности геокриологических условий ряда скважин месторождений Сибири, авторы провели исследования, направленные на разработку методов стабилизации теплообменных процессов и сохранения природной среды. Была предложена эффективная методика сохранения баланса в системе скважина – пласт, что будет крайне актуально на месторождениях Сибири, арктического и субарктического климатического пояса.

Изучаемое нами Сузунское месторождение характерно тем, что оно состоит в области многолетнемерзлых пород (ММП) и подвержено их непрерывному воздействию. Оно принадлежит Западно-Енисейской зоне, которая, в свою очередь, входит в Западно-Сибирско-Хатангскую глубинку, характеризующуюся высокой отрицательной температурой (Гинсбург, 1971).

Общегодовая температура мерзлотного рельефа и пород меняется в огромной доле местности от  $-1^{\circ}\text{C}$  вплоть до  $-5^{\circ}\text{C}$ . Преимущественно холодные температуры характерны промерзшим осадочным породам равнин и террас, в плоскости которых сформирован низкий мохово-лишайниковый слой, который почти никак не противодействует выдуванию осадков.

Помимо этого, в данной статье была проведена работа по моделированию теплообменных процессов между скважинами и зоной расположения многолетнемерзлых пород.

**Ключевые слова:** подошва пласта, температура грунтов, многолетнемерзлые породы, геотермальный градиент.

Криотемпература земли в подошве покрова годовых теплооборотов (приблизительно 15 м толщины) в водораздельных равнинах ожидается падает с юга на север от  $-3^{\circ}\text{C}$  вплоть до  $-8^{\circ}\text{C}$ . В речных равнинах температура промерзших пород чаще всего больше на  $2^{\circ}\text{C}$  [1].

Отталкиваясь от данных, полученных с каротажных диаграмм и снятых в Сузунском месторождении, находящихся в зоне перманентной мерзлоты, скважинам Сз-1 и Сз-2 – квернометрия, КС, ПС. Благодаря термокаротажу на скважине Сз-1 и Сз-3, установлена нижняя линия мерзлоты. Слой промерзлой области располагается в границах 520-570 м. Разработками на протяжении 3-х лет было определено, что черта температур, находящихся ниже нуля, присутствует и на глубине 555 м.

Входящим в нижний гидрогеологический этаж можно назвать около трех водоносных кластера: юрский, неокомский и апт-альб-сеноманский.

В Большехетском нефтегазовом районе осадки водоносного кластера возрастом юрского периода сформированы повсюду и показаны в большей степени глинистыми осадками, переслаивающимися с песочными и песчано-алевритистыми разностями пород. Целиком осадки кластера не перфорированы.

**Стратиграфический анализ.** На Сузунском месторождении породы имеют два вида происхождения: осадочные и метаморфические. Уже определена принадлежность метаморфических пород к архейско-среднепротерозойской эре, а осадочных – к ранне-среднепалеозойскому, позднепалеозойско-ранне-мезозойскому и мезозойско-кайнозойскому периоду. Сейчас глубоким бурением вскрыты лишь только отложения мезозойско-кайнозойского возраста. Информация о сложении более древних отложений будет только гипотезой [2].

Основа данного фундамента в этой местности по некоторым предположениям сформи-

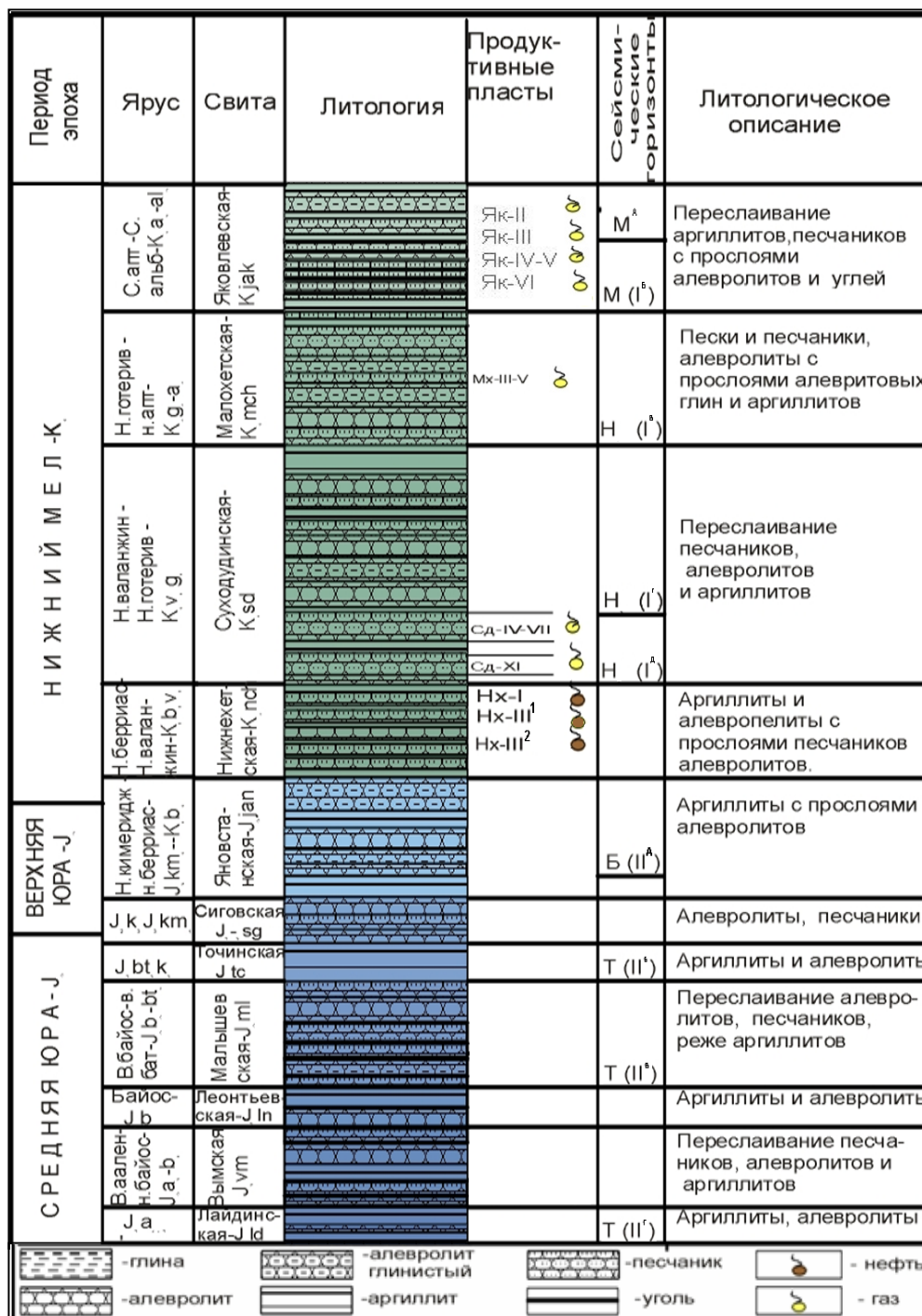


Рис. 1. Стратиграфический анализ юрских и меловых отложений

рована кластером метаморфических отложений, возрастом архейско-протерозойской эры. Вышезалегающие породы возрастом позднепротерозойского и палеозойского (в большей степени начала палеозоя) терригенно-карбонатных отложений (единая мощность которых будет равна до 4 000 м.) принимают непосредственное участие в формировании неровного,

складчатообразного фундамента. Было разведано, что в истоках мезозойского площадкообразного чехла находятся как материковые вулканогенно-осадочные осадки, так и осадочные образования триаса.

Мезозойско-кайнозойский период показан в виде осадок юрского, мелового и четвертичного возраста (рис. 1).

**Тектоническая характеристика района.**

Развитие террасы завершилось в рубеже границ леонтьевской и малышевской свит. В данный промежуток она заполучила валообразную фигуру и занимала основную и южную доли исследуемого участка.

По данным районирования, проделанного с использованием этой систематизации (рис. 2), исследуемая нами местность большей частью располагается в границах Болшехетской скелетной мегатеррасы, положительного незамкнутого элемента I порядка в пределах Надым-Газовской синеклизы Западно-Сибирской плиты.

Согласно данным, сузунские залежи находятся в границах похожего валообразного возвышения, которое, в свою очередь, осложнено границами лицензионной области как Сузунского, так и Токачинского местного возвышения. При этом оба этих возвышения нацелены по оси вышеупомянутого валообразного возвышения в субширотном течении. Согласно верхнемеловым отложениям, Сузунское местное возвышение закрывается рельефной изогипсой, равной 830 м, его амплитуда равна 30 м, протяженность – 16,9 км и ширина около 5,5 км. Токачинское местное возвышение протягивается с северной части на южную и закрывается изогипсой, равной 830 м, с амплитудой 50 м, протяженность – 21,2 км и ширина – 5,1 км.

В той области нижнемеловых осадков и то и другое возвышения соединяются в общее Сузунское местное возвышение, усложненное 2-мя малоамплитудными куполами. Оно закрывается изогипсой – 2540 м, обладает амплитудой 40 м, протяженностью 31,8 км, наибольшая ширина – 11,0 км.

Подробная структура замечается по юрским отложениям (кровля сиговской свиты). По этой высоте Сузунское местное возвышение закрывается изогипсой – 3180 м, обладает амплитудой 50 м, его протяженность – 26,2 км, наибольшая ширина – 11,3 км.

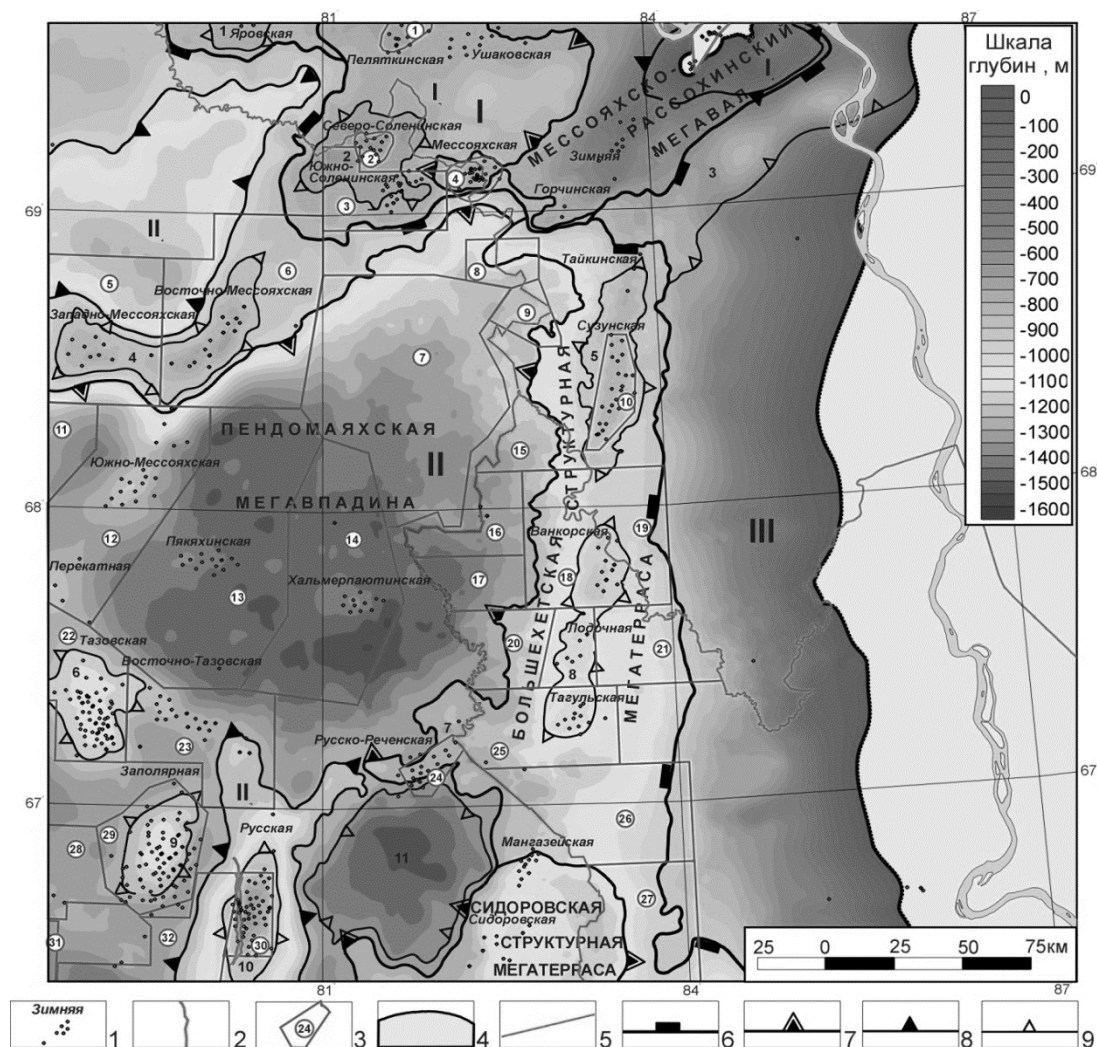
В истоке юрского периода днище морского бассейна, каким считалась нечеткая плоскость триас-палеозойского начала, показывала собою моноклираль западного падения, усложненную в основной доле участка террасообразной площадкой. Разность глубин была равна

более 400 м. В восточной доле участка (на рубеже и за границами Сузунской лицензионной области) замечается линейно тянущаяся валообразная складка, надлежащая наклоненному в южном направлении горсту в триасовых отложениях, урезанному 2-мя параллельными разломами. Амплитуда складки представляла более 200 м. Терраса, прилегающая к западному скату валообразной складки, вероятно, сформировавшаяся в ходе денудации триасовых пород при едином погружении местности ниже уровня моря в раннеюрский период [3].

В ходе осадконакопления в нижнеюрский и отчасти среднеюрский периоды проистекает корректировка морского днища, также к западу от горстообразного возвышения создается широкая палеоплощадка немного тянущегося очертания в юго-западной стороне.

**Терморегулирующее устройство**

Бурение предполагает применение для обсадных колонн теплоизоляционных материалов. Аналогичных точно как термокейсам – колонны начинают создавать из металлических труб, диаметр может быть разный и зависит от условий требуемой скважины. Но стандартно он равен 530 и 820 мм. Обязательным условием будет использование технологической схемы: «труба в трубе» с последующей заливкой межтрубного свободного места теплоизолирующим веществом, например – пенополиуретаном [3]. Устройство протяженностью 24 м произведено из верхней и нижней секций, которые объединяют с использованием фланцев либо сварным швом. Нижний компонент установки оснащен фиксатором с целью крепления на какой-либо ограниченный по времени срок опорных элементов, которые будут упираться в устье скважины во время монтажа колонны. Пространство, необходимое для объединения компонентов, обязательно теплоизолируют оболочками, например как пенополиуретановые скорлупы, затем вводится железный обвод и стягивается хомутами. И только после окончания установки опорные части убираются, и колонна может вводиться в рабочее состояние. Свободное место среди колонны и скважины следует заполнять цементным раствором. Эта методика рекомендуется в основном на мелких пластах под воздействием многолетнемерзлых



**Рис. 2.** Схема структурно-тектонического районирования по верхнемеловым отложениям

грунтов – вплоть до 30 м и при температуре эксплуатации до  $-60^{\circ}\text{C}$  [4].

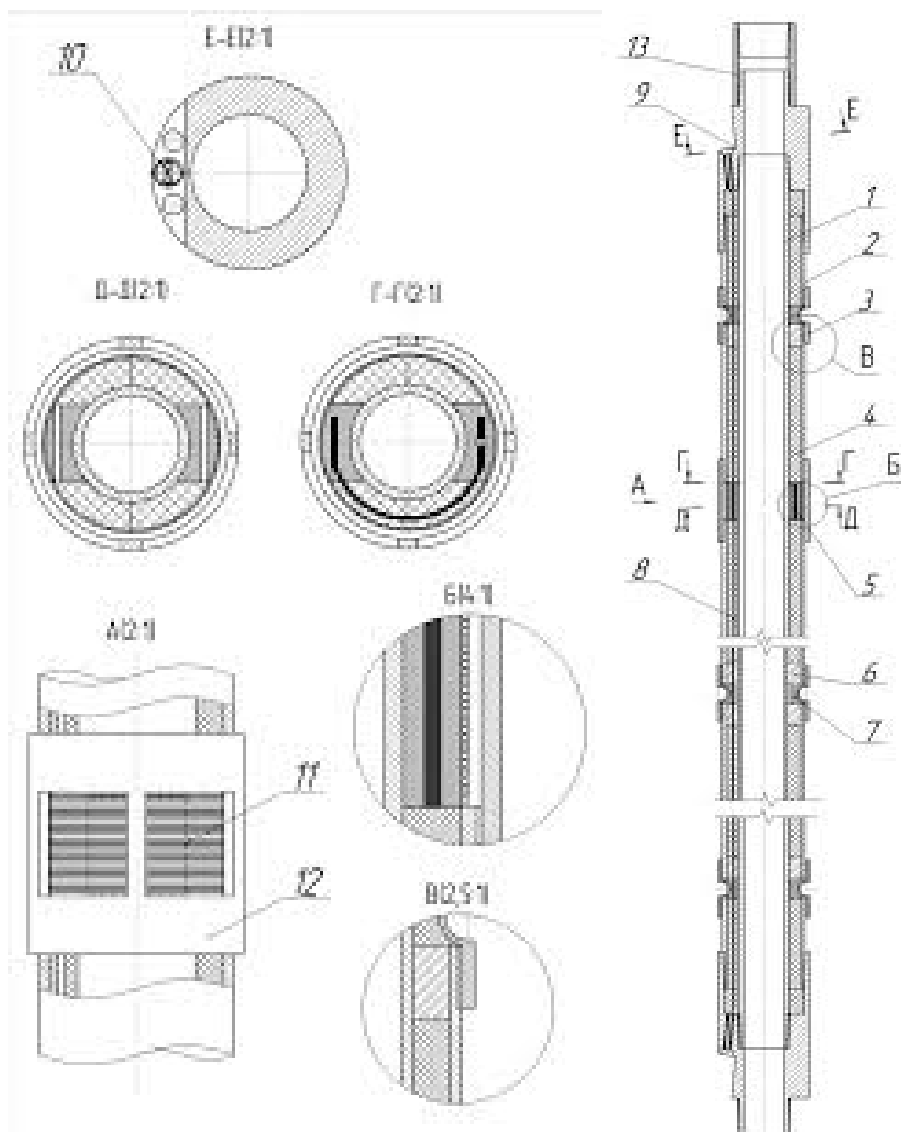
Однако ограничение использованием лишь данного метода не сможет полностью решить существующую проблему. Авторы предполагают для решения этой проблемы использование терморегулирующего устройства.

Внутренней трубой является насосно-компрессорная труба, а внешней – труба, изготовленная из стали или алюминиевого сплава, распределяющая температуру от ореолов термоэлектрических сборок, удерживающихся металлической проволокой. Втулки на внешней трубе увеличивают эффективность теплоотвода и соединяют секции. Компенсаторы линейных расширителей созданы в виде гофрированной

диафрагмы. Теплоизоляционные скорлупы имеют материал с низкой теплопроводностью, например – пенополиуретана, выполняющие функцию фиксирования теплового потока и не дающие ему уйти во внешнюю трубу.

С помощью локализованно установленных термоэлектрических элементов, СТЭМ может управлять процессом теплообмена в межтрубном пространстве скважины, что делает ее крайне эффективной в многолетне-мёрзлых породах.

Учитывая, что скважины Ванкорского кластера находятся в зоне вечной мерзлоты, разработаны дополнительные меры, для того чтобы не растоплять пласты и сохранить экологический баланс системы. Для решения этой



**Рис. 3.** Конструкция скважинного термоэлектрического модуля.

Строение скважинного термоэлектрического экранного модуля: Внутренняя труба – 1; Внешняя труба – 2; Компенсаторы линейных расширений в верхней части СТЭМ – 3; Теплоизоляционные скорлупы – 4; Термоэлектрические сборки – 5; Центрирующие кольца – 6; Наполнитель – 7; Кабель – 8; Переходники – 9; Разъемные соединения – 10; Металлическая проволока – 11; Втулки на внешней трубе – 12; Муфты – 13.

проблемы рекомендовано использование для обсадных колонн термокейсов, покрытых снаружи прочной пленкой из СВМПЭ, имеющих низкий коэффициент трения и достаточную ударную вязкость. Кроме того, этот материал хорошо защищает металл от коррозии. В качестве утеплителя можно использовать войлок, стекловату и другие. В дополнение к этому предлагается терморегулирующее устройство СТЭМ [5].

Допускаемое значение линейного теплового потока  $Y_{\text{СКВ,Д}}$ , в котором температура на внешней плоскости колонны будет равна температуре фазовых превращений многолетнемерзлой породы.

$$q_{\text{СКВ,Д}} = \frac{\pi(t_{\text{ж}} - t_{\text{ф}})}{\left( \sum_{i=1}^{i=k} \frac{1}{a_i d_i} + \sum_{i=1}^{i=k} \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_i M}{d_i} \right)} \quad (1)$$

Определяем разность фактического и допускаемого линейных тепловых потоков, Вт/м:



$$\Delta q = [q_{\text{скв.ф}} - q_{\text{скв.д}}] \quad (2)$$

Требуемая холодопроизводительность СТЭМ  $Q_0$ , Вт:

$$Q_0 = \Delta q l \quad (3)$$

Количество термоэлектрических элементов в СТЭМ:

$$n_1 = \frac{Q_0}{Q_M} \quad (4)$$

где  $Q_M$  – холодопроизводительность одного термоэлектрического компонента, Вт.

Связь температуры на внешней плоскости СТЭМ от холодопроизводительности от одного термоэлектрического элемента и расстояния  $z$  от него:

$$t = \frac{-Q_M}{2\pi\lambda z_M} \cdot \frac{(m - \frac{dz}{\lambda})e^{-ml}e^{m-z} + (m + \frac{dz}{\lambda})e^{-ml}e^{-mz}}{m(e^{ml} + e^{-ml}) + \frac{\alpha_2}{\lambda}(e^{ml} + e^{-ml})} + t_{\text{окр}}. \quad (5)$$

где  $m = \sqrt{\frac{\alpha_1}{\lambda_6}}$ ;  $z_M$  – длина работающего термоэлектрического элемента, м;

$l$  – длина рассматриваемого участка, м;

$\lambda$  – показатель теплопроводности использованного материала трубы, Вт/(м °С);

$\alpha_1$  – показатель теплоотдачи внешней трубы, Вт/(м °С);

$\alpha_2$  – показатель теплоотдачи торца трубы, Вт/(м °С);

$\delta$  – слой стены внешней трубы (кожуха) термоэлектрического модуля, м;

$t_{\text{окр}}$  – температуры среды между лифтовой и эксплуатационной колоннами (затруб), °С.

Исходя из вышесказанного, можно констатировать, что температура в плоскости внешнего цементного кольца обязана являться равной или меньшей температуры фазовых метаморфоз промерзлой породы, при функционирующем термоэлектрическом компоненте. Математическое выражение этой температуры представлено формулой (6):

$$t_k = t_{\text{ж}} - \frac{q_{\text{скв}}}{\pi} \left( \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_{\text{нз}}} \ln \frac{d_{\text{в. СТЭМ}}}{d_2} \right) + \frac{Q_M}{2\pi\lambda z_M} \frac{(m - \frac{\alpha m}{\lambda})e^{-ml}e^{m-z} + (m + \frac{\alpha}{\lambda})e^{-ml}e^{-mz}}{m(e^{ml} + e^{-ml}) + \frac{\alpha m}{\lambda}(e^{ml} - e^{-ml})} - \frac{q_{\text{скв}}}{\pi} \left( \sum_{\text{шт}=2}^3 \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=3}^k \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_1 + z}{d_1} \right) \quad (6)$$

Из пропорций длин исследуемой плоскости и распределения нынешней температуры промерзлой породы устанавливаем нужное количество термоэлектрических компонентов в СТЭМ с целью управления термическими потоками:

$$n_2 = \frac{l_1 3,14D}{l_0 l_3} \quad (7)$$

где  $l_0$  – максимальная дистанция с термоэлектрического компонента, при которой на внешней плоскости слоя конструкции скважины ниже температуры фазовых превращений мерзлой породы, м;  $l_1$  – протяженность исследуемой зоны скважины, в коей нужно сохранять температуру фазовой метаморфозы мерзлой породы, м;  $D$  – внешний диаметр внутренней трубы СТЭМ, м.

Советуемое количество термоэлектрических компонентов в СТЭМ с учетом 2-х расчетов, шт:

$$n = \frac{n_1 + n_2}{2} \quad (8)$$

Результаты использования дали положительный эффект на ряде скважин Ванкорского месторождения.

**Заключение.** Применение термокейсов или же других термоизолирующих устройств способно только замедлить процессы протаивания многолетнемерзлых пород вокруг рабочей скважины. Поэтому в данной работе авторами был предложен расширенный ряд

мероприятий для максимально полезного использования терморегулирования на продуктивных скважинах в зоне вечной мерзлоты.

Данное экспериментальное моделирова-

ние показало, что терморегулирующие устройства позволяют эффективно регулировать ореолы протаивания, вследствие чего избежать значительных затруднений эксплуатации, таких как провалы и пучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Решения межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию региональной стратиграфической схемы палеозойских образований Западно-Сибирской равнины. (Новосибирск, 1999 г.). СНИИГГиМС. Новосибирск, 1999. 79 с.
2. *Баясан Р.М.* Парожидкостные термостабилизаторы грунта различных типов и назначения, их конструктивные и теплотехнические особенности / *Р.М. Баясан, А.Д. Лобанов* и др. // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2012. №4 (32). С. 11-1.
3. *Баясан Р.М.* Сравнительная оценка эффективности работы двухфазных термосифонов для термостабилизации грунтов в криолитозоне / *Р.М. Баясан, А.Д. Лобанов* и др. // Инженерные изыскания. 2012. №7. С. 63.
4. *Байбародских Н.И., Назимко в Г.Д. и др.* Перспективы нефтегазоносности Красноярского края. Красноярск: КГУ, 1964.
5. *Булчаев Н.Д., Газабиева З.Х., Магомадова Э.И.* Методы борьбы с коррозией в условиях ванкорского нефтегазового месторождения. Грозный: Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, 2018. С. 180-187.

### CONSIDERATION OF GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS IN THE DEVELOPMENT OF THE SUZUNSKOYE FIELD.

© A.G. Kagramanov, M.I. Kasumov, N.D. Bulchaev, A.Sh. Khaladov  
*GSTOU named after acad. M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia*

The poor knowledge of the geocryological conditions of a number of wells in Siberian fields, the authors carried out research aimed at developing methods for stabilizing heat transfer processes and preserving the environment. An effective method for maintaining a balance in the well-reservoir system was proposed, which will be extremely important in the fields of Siberia, the arctic and subarctic climatic zones.

The zone of the Suzunskoye field is located in the area of continuous influence of permafrost rocks (permafrost), also in geocryological connection it belongs to the West Yenisei subzone of the West Siberian-Khatanga permafrost hinterland (Ginsburg, 1971).

The total annual temperature of the permafrost relief and rocks varies in a huge part of the area from  $-1^{\circ}\text{C}$  to  $-5^{\circ}\text{C}$ . Predominantly cold temperatures are characteristic of frozen sedimentary rocks of plains and terraces, in the plane of which a low moss-lichen layer is formed, which almost does not in any way oppose the blowing of sediments.

In addition, in this article, work was, carried out to simulate heat transfer processes between wells and the permafrost zone.

**Keywords:** base surface, soil temperature, permafrost, geothermal gradient.

## REFERENCES

1. (1999) Resheniya mezhdedomstvennogo stratigraficheskogo soveshchaniya po rassmotreniyu i prinyatiyu regional'noi stratigraficheskoi skhemy paleozoiskikh obrazovaniy Zapadno-Sibirskoi ravniny. [Decisions of the interdepartmental stratigraphic meeting for the consideration and adoption of the regional stratigraphic scheme of the Paleozoic formations of the West Siberian Plain]. SNIIGGiMS. Novosibirsk, 79 p.
2. Bayasan, R.M., Lobanov, A.D. and others. (2012) 'Parozhidkostnye termostabilizatory grunta razlichnykh tipov i naznacheniya, ikh konstruktivnye i teplotekhnicheskie osobennosti'. *Truboprovodnyi transport: teoriya i praktika*. [Vapor-liquid thermal stabilizers of soil of various types and purposes, their design and heat engineering features. Pipeline transport: theory and practice]. No. 4 (32). P. 11-1
3. Bayasan, R.M., Lobanov, A.D. and others. (2012) 'Sravnitel'naya otsenka effekti vnosti raboty dvukhfaznykh termosifonov dlya termostabilizatsii gruntov v kriolitozone'. *Inzhenernye izyskaniya*. [Comparative evaluation of the efficiency of two-phase thermosyphons for thermostabilization of soils in permafrost. Engineering surveys]. №7. P. 60-63
4. Baybarodskikh, N.I., Nazimkov, G.D. and others. (1964) Perspektivy neftegazonosnosti Krasnoyarskogo kraya. [Perspectives of oil and gas potential of the Krasnoyarsk region]. KSU, Krasnoyarsk.
5. Bulchaev, N.D., Gazabieva, Z.Kh. and Magomadova, E.I. (2018) 'Metody bor'by s korroziei v usloviyakh vankorskogo neftegazovogo mestorozhdeniya' *Groznenskiy gosudarstvennyi neftyanoy tekhnicheskii universitet imeni akademika M.D. Millionshchikova*. [Methods of combating corrosion in the conditions of the vankor oil and gas field. Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov]. Pp. 180-187.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТОВ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОСУШКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА АСТРАХАНСКОГО ГПЗ ФИЛИАЛА ООО «ГАЗПРОМ ПЕРЕРАБОТКА»

© М. М. Тугельтаев, О. Н. Каратун, О. В. Танаянц, В. В. Шардыко  
*Астраханский газоперерабатывающий завод ООО «Газпром переработка»,  
с. Джанай, Россия*

При транспортировке товарного газа потребителям по магистральным газопроводам предъявляются жесткие требования к его физико-химическим характеристикам и компонентному составу, для обеспечения надежной эксплуатации трубопроводной системы. Одним из основных контролируемых параметров, оказывающих существенное влияние на эксплуатационные характеристики товарного газа, является влагосодержание, которое характеризуется таким показателем, как точка росы по воде. С целью снижения содержания влаги в товарном газе для осушки применяются различные методы, в том числе и методы осушки с использованием адсорбентов, эффективность использования которых подтверждена не одним десятилетием. Самыми эффективными адсорбентами в настоящее время являются цеолиты, которые при их использовании позволяют получать низкие температуры точки росы по воде. Подбор эффективных цеолитов для осушки углеводородных газов с целью достижения как можно более низкой температуры точки росы по воде является актуальной задачей, решение которой позволит улучшить экономику процесса осушки.

В статье проанализированы результаты использования двух марок адсорбентов (производства ООО «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов» и ООО «Салаватский катализаторный завод»), которые применялись в процессе осушки углеводородного газа на Астраханском ГПЗ филиале ООО «Газпром переработка» (далее – Астраханский ГПЗ).

Сопоставительный анализ работы адсорбентов двух производителей показал возможность их использования в процессе осушки углеводородного газа на Астраханском ГПЗ. В присутствии данных адсорбентов при номинальной и максимальной загрузке технологической установки осушки и отбензинивания газа на Астраханском ГПЗ содержание влаги в газе не превышало 1,0 ppm. Адсорбент производства ООО «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов» показал большую устойчивость работы в процессе осушки, что было обусловлено меньшей динамикой изменения основных технологических показателей.

**Ключевые слова:** обессеренный газ, товарный газ, осушка, цеолит, точка росы, адсорбция.

**Введение.** В связи с быстрым ростом добычи природного газа изменяется структура потребления энергии. За последние десятилетия мировое потребление природного газа растет быстрее, чем потребление нефти и угля. Доля нефти и угля в общей структуре потребления снижается, а доля природного газа растет [1, 2].

Основным технологическим процессом, применяемым для подготовки природного газа к транспортировке по магистральным трубопроводам, является процесс осушки [2].

Астраханское газоконденсатное месторождение открыто в 1976 г. и введено в эксплуатацию в 1986 г. Оно характеризуется уникальным составом и запасом пластовой смеси. Отличительным месторождением его делает: высокое содержание сероводорода – около 26,0% и диоксида углерода – около 12,6%, кроме этих компонентов в пластовой смеси присутствует значительное количество сераорганических соединений [3].

Содержание воды в природном газе может привести к возникновению при транспорти-

ровке и переработке гидратов. Гидраты, отлагаясь в газопроводах, уменьшают их проходное сечение, нарушают режим работы технологических установок, что, в свою очередь, может привести к аварийным остановкам. Помимо этого содержание влаги в технологической и трубопроводной системах усиливает коррозию оборудования [4].

Для предотвращения потери товарного газа по вышеописанным причинам, на Астраханском ГПЗ эксплуатируются установки осушки и отбензинивания газа. Осушку от влаги производят адсорбционным способом на цеолитах (молекулярных ситах). Выбор поглотителя обуславливается его преимуществами: позволяет получить самую низкую точку росы ( $-60^{\circ}\text{C}$  ÷  $-90^{\circ}\text{C}$ ), вследствие чего обеспечивает дальнейшую низкотемпературную переработку газа; более низкий перепад давления в слое адсорбента; прочность при истирании и контакте с капельной влагой, и большая скорость поглощения влаги.

**Методика.** В настоящее время основные требования к качеству товарного газа, вырабатываемого на Астраханском ГПЗ, определены в СТО Газпром 089-2010 [5].

Осушка газа и доведение его до норм СТО Газпром 089-2010 по содержанию воды происходит с использованием цеолитов на установках осушки и отбензинивания газа (далее У74). На заводе функционируют две технологические установки У74.

В состав установки У74 входят две идентичные параллельно работающие линии. Каждая линия состоит из двух секций:

- промывки от амина и осушки газа;
- отбензинивания газа.

В секцию осушки входят два или три адсорбера на каждую линию, работающие поочередно: один на адсорбцию, один на регенерацию, один в стадии ожидания или охлаждения. Продолжительность цикла адсорбции – не более 8 часов, регенерации – не более 8 часов. Рассмотрим работу одной линии, в состав которой входит три адсорбера.

Цикл регенерации делится на две фазы по 4 часа: на регенерацию 4 часа, охлаждение – 4 часа при работе 2-х линий или 8 часов при работе 1-ой линии.

Проектная производительность одной линии установки У74 по обессеренному газу составляет: номинальная –  $263085 \text{ м}^3/\text{час}$ , максимальная –  $302548 \text{ м}^3/\text{час}$ .

Осушка обессеренного газа производится в трёх адсорберах В15А/В/С. При автоматическом режиме работы переключение адсорберов производится согласно программному обеспечению. В качестве адсорбента влаги используются цеолиты с размерами гранул диаметром 1,6 мм и 3,2 мм, загруженные в аппараты в два слоя.

Работа адсорберов циклическая в режимах: адсорбция газа, регенерация насыщенного адсорбента (десорбция), охлаждение, ожидание (резервный простой) и снова включение в цикл адсорбции (осушки). При одновременной работе линий адсорберы обеих линий связаны между собой общей системой регенерации адсорбента.

Влажный обессеренный газ из входного сепаратора поступает в верхнюю часть адсорбера, проходит сверху вниз слой цеолита, пары воды адсорбируются со снижением их концентрации до 1 ppm в осушенном газе.

По высоте адсорбера осуществляется контроль за температурой слоя цеолита. Контроль температуры осушенного газа на выходе с адсорберов В15 А/В/С и перепад давления осушаемого газа по слоям адсорбента осуществляется обслуживающим персоналом на автоматизированном рабочем месте.

Осушенный газ после адсорбера поступает на фильтры, где очищается от пыли цеолита. После фильтров осуществляется контроль точки росы осушенного газа по воде анализатором.

Регенерация цеолита делится на две фазы: десорбция и охлаждение.

В зависимости от числа работающих линий продолжительность каждой фазы различна и составляет при работе одной линии – 8 часов, а при работе двух линий – 4 часа.

Газ регенерации отбирается после фильтров и через клапан регулятора расхода в количестве 18-20 тыс.  $\text{м}^3/\text{час}$  поступает на охлаждение одного из адсорберов. Направление потока газа через адсорбер в режиме охлаждения и десорбции снизу вверх. После выхода из

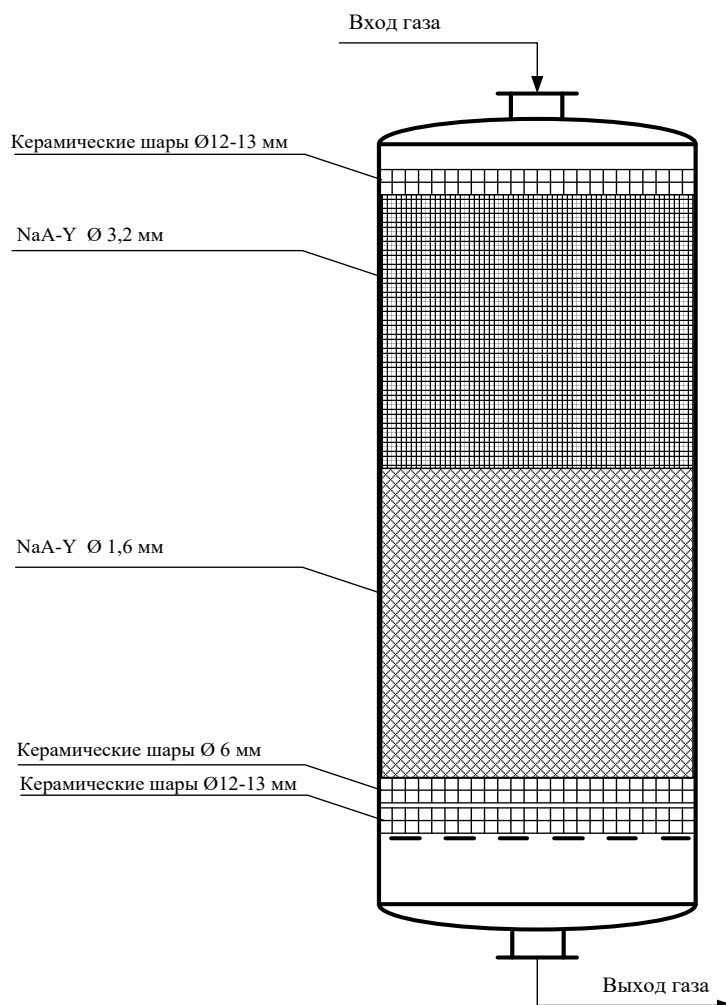
адсорбера, находящегося в режиме охлаждения, газ регенерации направляется в печь. Нагретый в печи газ подаётся в адсорбер, находящийся в режиме десорбции.

Насыщенный влагой газ регенерации выходит сверху адсорбера, поступает на охлаждение в аппарат воздушного охлаждения, после чего проходит трехфазный сепаратор, где отделяются сконденсированная вода и жидкие углеводороды, и с помощью компрессора подаётся на установку очистки газа от кислых компонентов.

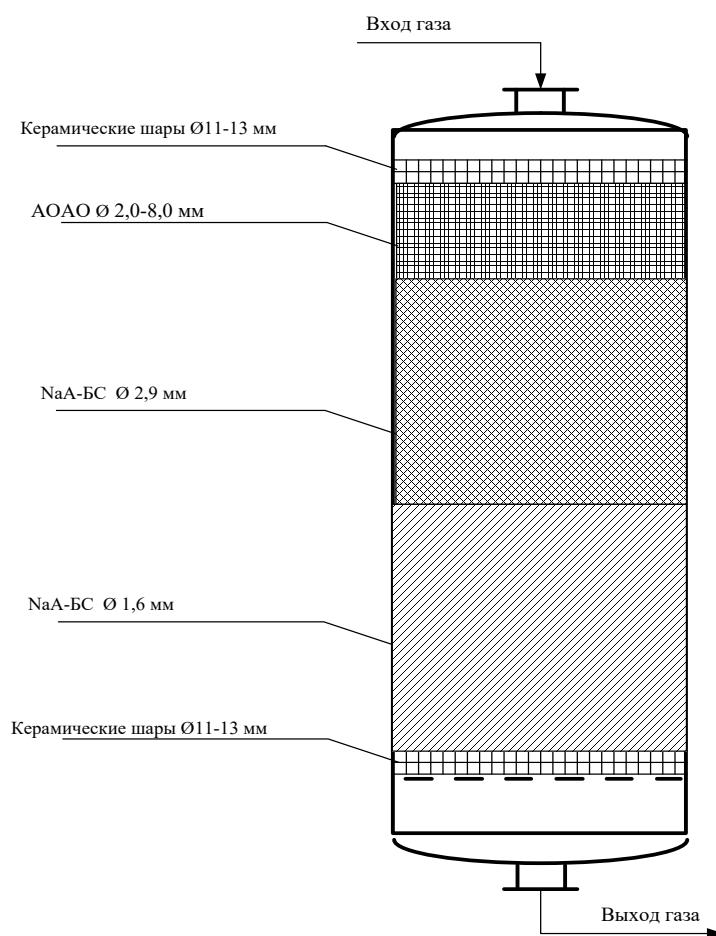
Использование цеолитов для осушки бессеренного газа обусловлено необходимостью получения низкой точки росы ввиду того, что газ в дальнейшем подвергается низкотемпературной переработке, которая включает в себя

два этапа охлаждения газа. Первый этап – это охлаждение газа на жесткотрубных теплообменниках обратными потоками до минус  $50^{\circ}\text{C}$ , охлаждение газа на втором этапе происходит за счет изотропного расширения газа в турбодетандере, при этом температура снижается до минус  $103^{\circ}\text{C}$ . При такой температуре происходит выпадение в виде жидкости из осушенного газа широкой фракции лёгких углеводородов.

В процессе осушки газа происходит не только поглощение молекул воды цеолитами, но и других компонентов, содержащихся в газе, таких как сероводород, сернистые соединения, в свою очередь регенерация цеолитов приводит к десорбции не только молекул воды с поверхности цеолитов, но и поглощённых молекул сероводорода и сернистых соединений.



**Рис. 1.** Слойная схема загрузки адсорбера цеолитом производства ООО «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов»



**Рис. 2.** Послойная схема загрузки адсорбера цеолитом производства ООО «Салаватский катализаторный завод»

**Основная часть.** Несмотря на многолетнюю успешную эксплуатацию установок осушки и отбензинивания газа на Астраханском ГПЗ, при обеспечении всех регламентированных требований по показателям качества осушенного газа, следует отметить технологические аспекты, требующие усовершенствования и доработки, такие как – недостаточная глубина осушки газа по отношению к заявленному проектному показателю, небольшой срок службы адсорбента (цеолита), «чувствительность к примесям», постепенное снижение адсорбционной ёмкости, вызванное неравномерной загрузкой по газу стационарного слоя адсорбента и образованием в нем нерегенерируемых отложений, образующихся за счёт закоксовывания и деструкции различных примесей осушаемого газа [6].

Целью данной работы было изучение и сопоставление технологических аспектов работы адсорбентов (цеолитов) двух производителей: ООО «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов» и ООО «Салаватский катализаторный завод»).

Адсорбционная система производства ООО «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов» состояла из цеолита NaA-Y (диаметр гранул цеолита 1,6 и 3,2 мм), была загружена в адсорбер В15А (рис. 1).

I слой – цеолит NaA-Y, формованный с диаметром 3,2 мм,

II слой – цеолит NaA-Y, формованный с диаметром 1,6 мм.

На нижнюю металлическую решётку уложена сетка из нержавеющей стали с размерами ячейки 1x1 мм, на которой располагается слой из керамических шаров диаметром 13 мм, над

ними слой из керамических шаров диаметром 6 мм. Над нижним слоем керамических шаров располагается слой цеолита NaA-Y с диаметром гранул 1,6 мм, и слой цеолита NaA-Y с диаметром гранул 3,2 мм. Сверху слоя цеолита NaA-Y располагается металлическая сетка из нержавеющей стали с размерами ячейки 1x1 мм, на которую уложен слой из керамических шаров диаметром 12-13 мм.

В адсорбер В15С был загружен цеолит NaA-BC (диаметр гранул цеолита 1,6 и 2,9 мм) производства ООО «Салаватский катализаторный завод» (рис. 2), работа которого анализировалась и сравнивалась с работой адсорбера В15А, в который был загружен цеолит производства ООО «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов».

I слой – активный оксид алюминия АОАО диаметром 2,0-8,0 мм,

II слой – цеолит синтетический NaA-BC диаметром 2,9 мм,

III слой – цеолит синтетический NaA-BC диаметром 1,6 мм.

Для сравнительного анализа работы двух адсорберов, в которых были загружены цеолиты двух производителей, было выбрано три

периода времени (сентябрь, март и февраль 2019-2020 гг.). Анализ проводился по данным из режимных листов. В табл. 1 представлены показатели работы адсорбера с загруженным в него цеолитом ООО «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов». В табл. 2 представлены показатели работы адсорбера с загруженным в него цеолитом ООО «Салаватский катализаторный завод».

Анализ работы адсорберов В15А и В15С, в которые были загружены цеолиты разных производителей, показал, что процесс осушки углеводородного газа был эффективным на данных цеолитах.

Средние значения степени осушки газа в период 25.09-08.10.2019 на цеолитах двух производителей были практически одинаковыми. Изучив динамику изменения степени осушки углеводородного газа, можно сделать вывод, что адсорбер В15А, в который был загружен цеолит производства «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов», работает стабильно на значении 0,3 ррт. Зафиксированы два случая, где влагоемкость газа достигала 0,432 и 0,535 ррт, что незначительно отразилось на среднем значении. В ад-

Таблица 1

Показатели работы адсорбера В15А

Наименование параметров	Периоды сопоставительного анализа		
	25.09-08.10.2019	13.02-23.02.2020	01.03-10.03.2020
Общие параметры			
Степень осушки газа, ррт	0,32±0,04	0,42±0,03	0,4±0,04
Расход влажного газа, тыс. нм <sup>3</sup> /ч	243,9±24,4	216,05±8,9	256,2±41,3
Перепад давления в адсорбере, МПа	0,3±0,08	0,25±0,02	0,38±0,09
Давление газа на входе в адсорбер, кгс/см <sup>2</sup>	61-62	61-62	61-62
Параметры регенерации			
Расход газа регенерации, тыс. нм <sup>3</sup> /ч	18±0,7	18,3±1,5	19±0,8
Температура газа регенерации на входе в адсорбер, °С	291,6±0,8	282,9±20	288,4±12,8
Температура газа регенерации на выходе в адсорбер, °С	26,9±0,9	27,6±0,8	26,6±0,8



Показатели работы адсорбера В15С

Наименование показателей	Периоды сопоставительного анализа		
	25.09-08.10.2019	13.02-23.02.2020	01.03-10.03.2020
Общие параметры			
Степень осушки газа, ppm	0,32±0,03	0,42±0,05	0,4±0,04
Расход влажного газа, тыс. нм <sup>3</sup> /ч	237,6±26,8	215,6±10,2	255,2±44,4
Перепад давления в адсорбере, МПа	0,23±0,07	0,2±0,02	0,27±0,09
Давление газа на входе в адсорбер, кгс/см <sup>2</sup>	61-62	61-62	61-62
Параметры регенерации			
Расход газа регенерации, тыс. нм <sup>3</sup> /ч	18±0,7	18,3±1,5	19±0,8
Температура газа регенерации на входе в адсорбер, °С	284,70±18	291,80±1,4	291,20±1,3
Температура газа регенерации на выходе в адсорбер, °С	26,62±1	27,90±3,1	31,40±3,3\

сорбере В15С, в котором был загружен цеолит производства ООО «Салаватский катализаторный завод», превышение значения влагоемкости газа – 0,3 ppm было зафиксировано чаще, единожды данный показатель повысился до 0,44 ppm, что повлияло на среднее значение за данный период и составило 0,32 ppm.

В период 13.02-23.02.2020 наблюдалась схожая ситуация. Основной диапазон изменения степени осушки углеводородного газа в адсорбере В15А составлял – 0,42±0,44 ppm, при этом амплитуда динамики изменения данного показателя была несущественной. В адсорбере В15С при работе в указанный период отмечалась более низкая влагоемкость, изменение которой колебалось в интервале – 0,39±0,4, но при этом амплитуда изменения данного показателя была выше.

Период 01.03-10.03.2020 характеризуется в адсорбере В15А большей амплитудой изменения значений влагоемкости, чем в В15С. В данный период зафиксирована в адсорбере В15С более стабильная работа цеолита в процессе осушки углеводородного газа.

Необходимо отметить, что в рассматриваемые периоды времени расходы влажного газа в двух адсорберах были на сопоставимом уровне.

Неотъемлемой частью процесса осушки углеводородного газа является регенерация адсорбентов (цеолитов). От успешности процесса регенерации цеолитов зависит их поглотительная способность. Важнейшим технологическим показателем, существенно влияющим на процесс десорбции адсорбированных молекул воды с поверхности цеолита, является температура. Температура процесса десорбции при глубокой осушке составляет 300°С. Скорость повышения температуры во время процесса регенерации регламентируется и контролируется контрольно-измерительными приборами.

Рассмотрим изменения температуры при переходе с осушки к регенерации в адсорберах В15А и В15С (табл. 3, 4).

Исходя из представленных данных по трем периодам мониторинга, температура регенерации цеолита в двух адсорберах в конце цикла регенерации в основном была в диапазоне 290 ÷ 293°С. При более низких температурах наблюдается ухудшение процесса регенерации цеолитов. Необходимая температура проведения регенерации достигается за 4 часа.

**Выводы.** На основании проведенного сравнительного анализа можно сделать следующие выводы:

Таблица 3

Изменение температуры при переходе с осушки к регенерации в адсорбере В15А

№ цикла	25.09-08.10.2019		13.02-23.02.2020		01.03-10.03.2020	
	Начальная температура, °С	Конечная температура, °С	Начальная температура, °С	Начальная температура, °С	Конечная температура, °С	Начальная температура, °С
1	26,4	292	28	252	27,7	291
2	26	292	27,5	293	27	291
3	26	292	27,5	291	27,6	250
4	25,9	293	27	292	28	292
5	26,9	292	27,2	291	26,9	292
6	27,5	291	27	292	25,9	292
7	27,2	292	27	291	26	291
8	26,5	292	29,1	293	26	294
9	29	291	28,7	292	25,9	294
10	26,7	290	27,1	293	26,1	293

Таблица 4

Изменение температуры при переходе с осушки к регенерации в адсорбере В15С

№ цикла	25.09-08.10.2019		13.02-23.02.2020		01.03-10.03.2020	
	Начальная температура, °С	Конечная температура, °С	Начальная температура, °С	Конечная температура, °С	Начальная температура, °С	Конечная температура, °С
1	27	290	27	292	28	291
2	26	292	26	291	37	290
3	26	285	28	290	44	292
4	26.1	289	28	291	28	292
5	25.7	290	27	291	41	292
6	26.1	232	23	292	27	290
7	27	293	28	295	29	289
8	29	292	28	293	26	291
9	27	293	27	291	26	292
10	27	291	37	292	28	293

– при номинальной и максимальной нагрузках адсорберов по влажному газу на установке осушки и отбензинивания углеводородного газа Астраханского ГПЗ, показатели степени осушки цеолита «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов» и «Салаватский катализаторный завод» сопоставимы;

– в присутствии цеолитов производства

ООО «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов» наблюдается более стабильная работа адсорбера, которая характеризуется меньшей динамикой изменения показателя – влагоемкость осушенного газа;

– процесс регенерации цеолитов двух рассматриваемых производителей проходит при одинаковых технологических параметрах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Бекиров Т.М., Ланчаков Г.А.* Технология обработки газа и конденсата. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. 596 с.
2. *Мурин В.И.* Технология переработки природного газа и конденсата. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002.
3. *Тараканов Г.В.* Технология переработки природного газа и газового конденсата на Астраханском газоперерабатывающем заводе. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2013 г
4. *Кельцев Н.В.* Основы адсорбционной техники. М.: Химия, 1984. 592 с.
5. СТО Газпром 089-2010. Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия. М., 2010. 20 с.
6. *Драчевский С.В., Каратун О.Н.* Особенности осушки углеводородного газа, содержащего сернистые соединения // Вестник АГТУ. 2008. Т. 47. №6. С. 158-160.

### THE POSSIBILITY OF USING ZEOLITES FROM VARIOUS MANUFACTURERS FOR THE DRYING OF HYDROCARBON GAS FROM THE ASTRAKHAN GAS PROCESSING PLANT, A BRANCH OF LLC «GAZPROM PROCESSING»

© M. M. Tugeltaev, O. N. Karatun, O. V. Tanayants, V. V. Shardyko  
*Astrakhan Gas Processing Plant branch of Gazprom Pererabotka LLC, Janay, Russia*

When transporting commercial gas to consumers through main gas pipelines, strict requirements are imposed on its physical and chemical characteristics and component composition, to ensure reliable operation of the pipeline system. One of the main controlled parameters that has a significant impact on the performance characteristics of commercial gas is the moisture content, which is characterized by such an indicator as the dew point on water. In order to reduce the moisture content in the commercial gas, various methods are used for drying, including methods of drying using adsorbents, the effectiveness of which has been confirmed for more than one decade. The most effective adsorbents currently are zeolites, which, when used, allow you to get low dew point temperatures in water. The selection of effective zeolites for the drying of hydrocarbon gases in order to achieve the lowest possible dew point temperature in water is an urgent task, the solution of which will improve the economy of the drying process.

The article analyzes the results of the use of two brands of adsorbents (produced by LLC "Ishimbay Specialized Chemical Plant of Catalysts" and LLC "Salavat Catalyst Plant"), which were used in the process of drying hydrocarbon gas at the Astrakhan Gas Processing Plant branch of LLC "Gazprom Pererabotka" (hereinafter – the Astrakhan Gas Processing Plant).

A comparative analysis of the adsorbents of the two manufacturers showed the possibility of their use in the process of drying hydrocarbon gas at the Astrakhan Gas Processing Plant. In the presence of these adsorbents at the nominal and maximum load of the gas drying and topping process unit at the Astrakhan Gas Processing Plant, the moisture content in the gas did not exceed 1.0 ppm. The adsorbent produced by LLC "Ishimbay Specialized Chemical Plant of Catalysts" showed greater stability in the drying process, which was due to the lower dynamics of changes in the main technological indicators.

**Keywords:** desulfurized gas, commercial gas, drying, zeolite, dew point, adsorption.

#### REFERENCES

1. Bekirov, T. M. and Lanchakov, G. A. (1999) Tekhnologiya obrabotki gaza i kondensata. [Gas and condensate processing technology]. LLC “Nedra – Business Center”, Moscow. 596 p.
2. Murin, V. I. (2002) Tekhnologiya pererabotki prirodnogo gaza i kondensata [Natural gas and condensate processing technology]. LLC “Nedra-Business Center”, Moscow. 2002.
3. Cockroaches, G.V. Natural gas and gas condensate processing technology at the Astrakhan gas processing plant. [Tekhnologiya pererabotki prirodnogo gaza i gazovogo kondensata na Astrakhanskom gazopererabatyvayushchem zavode].
4. Keltsev, N. V. (1984) ‘Osnovy adsorbtsionnoi tekhniki’. [Basics of adsorption technology]. Chemistry, Moscow. 592p.
5. STO Gazprom 089-2010. Gaz goryuchii prirodnyi, postavlyaemyi i transportiruemyi po magistral’nym gazoprovodam. Tekhnicheskie usloviya. [Combustible natural gas supplied and transported through main gas pipelines. Technical conditions]. Moscow, 20 p.
6. Drachevsky, S. V. and Karatun, O. N. (2008) ‘Osobennosti osushki uglevodorodnogo gaza, sodержashchego sernistye soedineniya’. [Peculiarities of drying hydrocarbon gas containing sulfur compounds]. *Vestnik AGTU*, Vol. 47, No. 6, pp. 158-160.

## БИФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ПРИСАДКА ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

© Хамадалиева Г. М., Баулин О. А., Рахимов М. Н., М. Ахмед Х. А.

УГНТУ, Уфа, Россия

В статье показано, что разработка отечественных присадок на сегодняшний день является актуальной и стратегически важной задачей. На основе побочных продуктов нефтехимических производств ООО «Газпром нефтехим Салават» была разработана оптимальная рецептура депрессорной присадки, показавшая свою эффективность на дизельных топливах различного состава и происхождения. Максимальный депрессорный эффект составил 18 °С. Влияние разработанной присадки на противоизносные свойства дизельного топлива оказало также положительный эффект со снижением скорректированного диаметра пятна износа до 24%. Физико-химические свойства дизельных топлив при введении в их состав 0,2% мас. разработанной присадки удовлетворяют требованиям ГОСТ 32511-2013.

**Ключевые слова:** дизельное топливо, депрессорная присадка, противоизносная присадка, предельная температура фильтруемости, смазывающая способность.

В последние годы во многих развитых странах наблюдается рост мирового спроса на дизельные топлива (ДТ), что, в свою очередь, предопределяет повышение требований к их экологическим и эксплуатационным характеристикам.

Основная доля производимого дизельного топлива в России приходится на летнее дизельное топливо [6], однако, учитывая географическое положение нашей страны, становится наиболее актуальным выпуск зимних марок ДТ. Помимо улучшения низкотемпературных свойств для дизельных топлив не менее значимой проблемой является также проблема повышения их смазывающей способности вследствие постоянного ужесточения требований по содержанию серы и ароматических углеводородов.

Среди наиболее эффективных и целесообразных с точки зрения экономики способов повышения качества ДТ наиболее распространенным является применение полифункциональных присадок, введение которых в ДТ позволяет повысить качество одновременно нескольких показателей, не ухудшая при этом его остальные характеристики.

Основную долю рынка присадок в России занимает зарубежная продукция [4]. В нынешней ситуации, связанной с введением санкций в различных странах мира в отношении

России, становится наиболее актуальным и практически значимым создавать собственные продукты из отечественного сырья, способные полностью покрыть потребность внутреннего рынка присадок, вытесняя при этом импортные аналоги.

В этой связи, нами были проведены исследования по разработке присадки, позволяющей улучшить эксплуатационные характеристики ДТ.

Объектами исследований стали дизельные топлива производства ООО «Газпром нефтехим Салават» (ДТ-1), АО «Танеко» (ДТ-2) и легкий гидроочищенный газойль (ЛГОГ) производства Alexandria Petroleum Company. Физико-химические показатели базовых ДТ и ЛГОГ представлены в таблице 1.

Из литературных источников [2, 3] известно, что в качестве депрессора может выступать низкомолекулярный полиэтилен (НМПЭ). В этой связи, нами был выбран НМПЭ – побочный продукт производства полиэтилена высокого давления ООО «Газпром нефтехим Салават», который не находит дальнейшего своего применения.

ИК-спектр НМПЭ, полученный на приборе Nicolet 6700 фирмы «Thermo Electron Corporation» с помощью приставки Smart Orbit в области 400-4000 см<sup>-1</sup> представлен на рисунке 1.

Таблица 1

## Показатели качества базовых ДТ и ЛГОГ

Наименование показателя	Норма по ГОСТ 32511-2013	Значение показателя		
		ДТ-1	ДТ-2	ЛГОГ
Цетановое число, не менее	51	53	61	49
Фракционный состав, °С: – 50% перегоняется при температуре, не более	–360	261	277	270
– 95% перегоняется при температуре, не более		356	360	351
Кинематическая вязкость при 20°С, мм <sup>2</sup> /с	2,0-4,5	2,52	2,98	3,1
Плотность при 15°С, кг/м <sup>3</sup>	820-845	835	822	827
Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	–	–4	–5	–10
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С	выше 55	60	66	62
Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа при 60 °С, мкм, не более	460	611	563	–

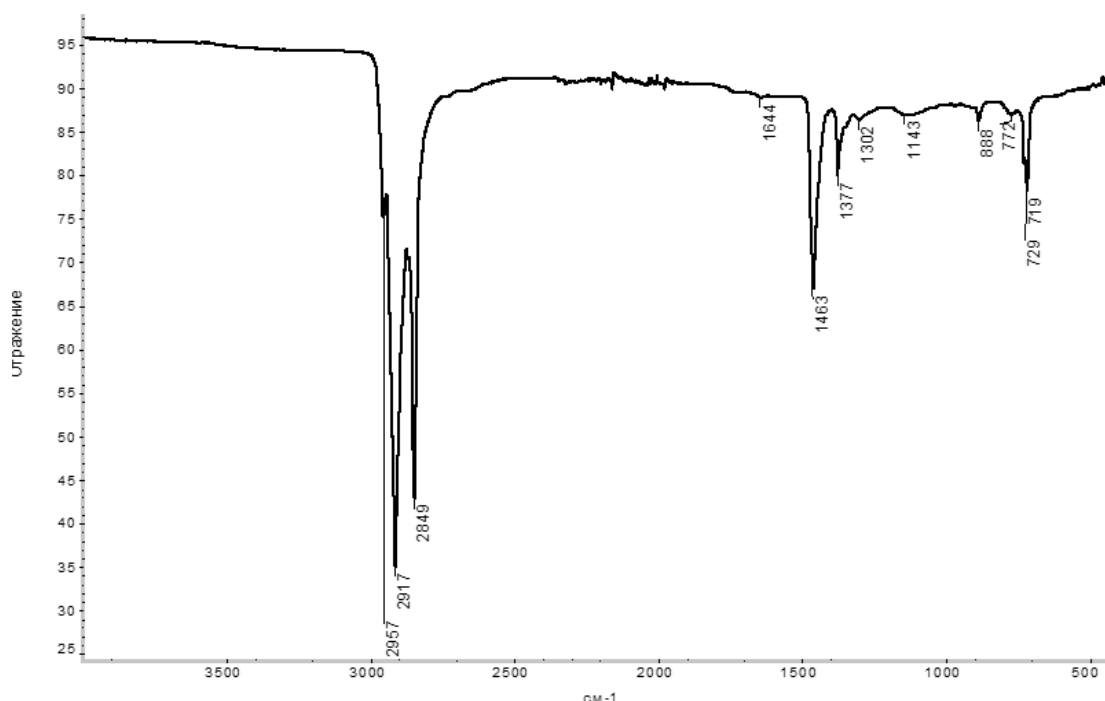
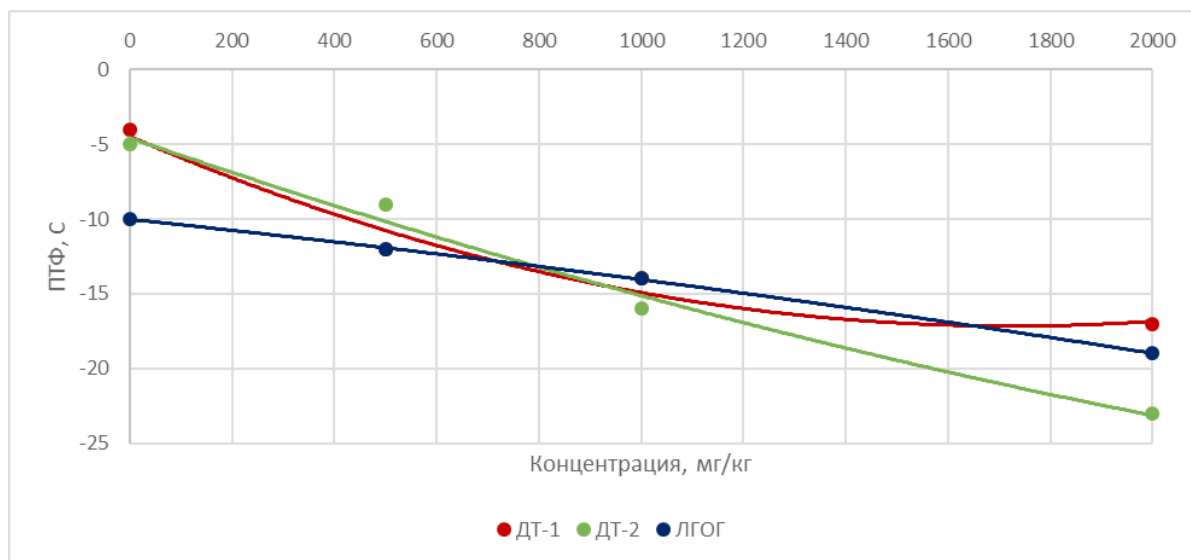


Рис. 1. ИК-спектр исследуемого образца НМПЭ

ИК-спектр образца НМПЭ характеризуется наличием а- и симметрических валентных и деформационных колебаний  $-\text{CH}_3$  и  $-\text{CH}_2$  (2957, 2917, 2849, 1463, 1377, 720  $\text{cm}^{-1}$ ). Частота 1644  $\text{cm}^{-1}$  отвечает валентным колебаниям связи  $-\text{C}=\text{C}-$  в  $\text{RHC}=\text{CH}_2$ . Частоты поглоще-

ний 1302 (верные колебания  $\text{CH}_2$ ) и 1143  $\text{cm}^{-1}$  (маятниковые колебания метильной группы  $-\text{CH}_3$ ) указывают на неразветвленные углеводородные цепи. Также можно отметить, что на ИК-спектре образца НМПЭ имеются неплоские деформационные колебания группы



**Рис. 2.** Результаты влияния разработанной присадки на низкотемпературные характеристики базовых ДТ и ЛГОГ

C – H в  $-C=C-H$  (888, 772, 729  $cm^{-1}$ ), характерные для непредельных углеводородов.

Для того чтобы создать рецептуру присадки с низкой себестоимостью, а также максимально рационально использовать отходы производства, в качестве растворителя для депрессора нами был выбран побочный продукт производства бутиловых спиртов ООО «Газпром нефтехим Салават» (КОБС), который по большей части состоит из смеси простых и сложных эфиров, альдегидов, спиртов с числом атомов углерода, равным и большим восьми [5].

Влияние полученной композиции депрессора на низкотемпературные свойства базовых ДТ и ЛГОГ исследовалось в интервале концентраций от 500 до 2000 мг/кг. Полученные результаты представлены на рисунке 2.

Проведенные исследования показывают, что разработанный состав депрессорной присадки эффективен в отношении улучшения низкотемпературных свойств всех анализируемых проб ДТ, однако максимальный депрессорный эффект, равный  $18^{\circ}C$ , наблюдается на пробе ДТ-2, полученного из тяжелых нефтей республики Татарстан.

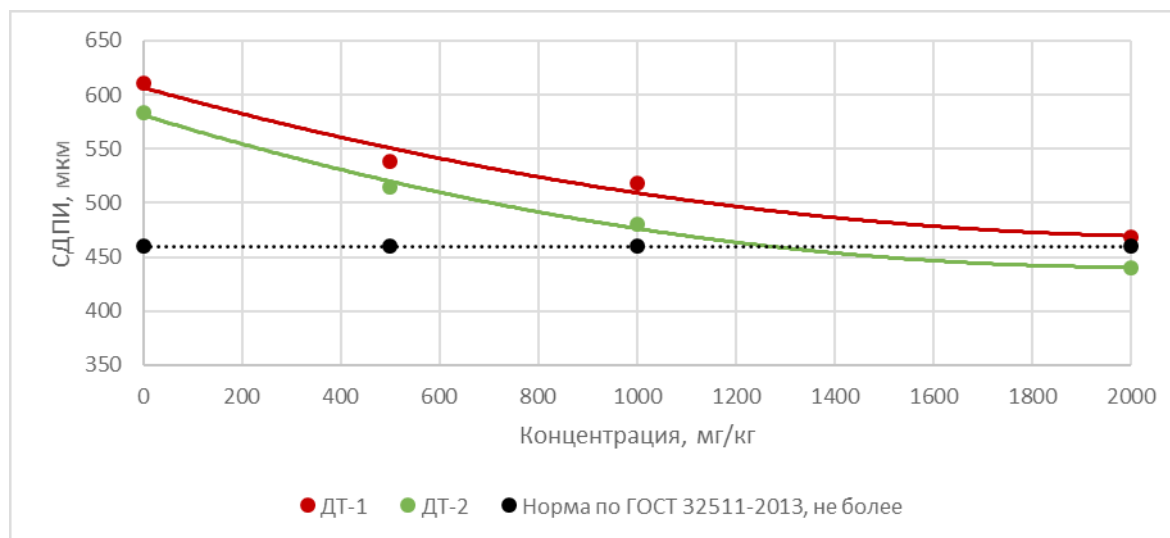
Известно, что самыми эффективными и наиболее распространенными соединениями среди противоизносных присадок являются кислородсодержащие соединения [1]. В этой связи, разработанная присадка была исследована также в отношении улучшения сма-

зывающих свойств ДТ-1, ДТ-2 в интервале концентраций присадки от 500 до 2000 мг/кг. Исследования влияния разработанной присадки на пробе ЛГОГ производства Alexandria Petroleum Company не проводились в связи с высоким содержанием серы в его составе (1,03% мас.).

В результате проведенных исследований выявлено также положительное влияние разработанной присадки на противоизносные свойства ДТ (рис. 3), при этом снижение скорректированного диаметра пятна износа (СДПИ) одинаково для исследуемых образцов ДТ и составило 24%.

Влияние разработанной присадки на физико-химические свойства базовых ДТ представлено в таблице 2.

Таким образом, разработанная присадка на основе побочных продуктов нефтехимических производств ООО «Газпром нефтехим Салават» показала свою эффективность в отношении улучшения эксплуатационных характеристик ДТ с одновременным положительным эффектом по низкотемпературным и противоизносным свойствам. Физико-химические свойства ДТ производства ООО «Газпром нефтехим Салават» и АО «Танеко» при введении в их состав 0,2% мас. разработанной присадки удовлетворяют требованиям ГОСТ 32511-2013.



**Рис. 3.** Результаты влияния разработанной присадки на противоизносные свойства базовых ДТ

Таблица 2

Физико-химические свойства базовых ДТ, содержащих присадку

Наименование показателя	Значение показателя при концентрации присадки, равной 2000 мг/кг		
	Норма по ГОСТ 32511-2013	ДТ-1	ДТ-2
Цетановое число, не менее	51,0	54,0	60,8
Плотность при 15°C, кг/м <sup>3</sup>	820-845	835,0	822,3
Кинематическая вязкость при 40°C, мм <sup>2</sup> /с	2,00-4,50	2,48	2,76
Полициклические ароматические углеводороды, % масс., не более	8,0	4,7	0,38
Температура вспышки в закрытом тигле, °C, выше	55	60	63
Фракционный состав:			
при t- 250°C, % об., менее	65	42	32
при t- 350 °C, % об., не менее	85	93	90
95% об. перегоняется при t, °C, не выше	360	356	360
Коксуемость 10%-ного остатка, % масс.	не более 0,3	0,02	0,014
Содержание воды, мг/кг, не более	200	26	9,2
Окислительная стабильность:			
общее количество осадка, г/м <sup>3</sup> , не более	25	20	24,3

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Баулин О. А. Смазывающая способность малосернистых дизельных топлив и методы ее повышения: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.07. Уфа, 2006. 118 с.
- 2 Данилов А. М. Применение присадок в топливах / А. М. Данилов. М.: Мир, 2005. 288 с.
- 3 Жузе Т. П. Низкотемпературные свойства нефтепродуктов / Т. П. Жузе. М.: Гостоптехиздат, 1949. 149 с.



- 4 Материалы конференции «Топливные присадки 2017». Москва, 2017.
- 5 *Минибаева Л. К.* Разработка цетаноповышающей присадки для дизельных топлив: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.07. Уфа, 2015. 96 с.
- 6 Основные тенденции развития мирового рынка жидких углеводородов до 2035 года [Электронный ресурс]. – <https://lukoil.ru/Business/Futuremarkettrends>

## BIFUNCTIONAL ADDITIVE TO DIESEL FUELS

© G.M. Khamadalieva, O.A. Baulin, M.N. Rakhimov, Kh.A.M. Akhmed  
*Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia*

The article shows that the development of domestic additives is currently an urgent and strategically important task. The optimal formulation of the depressant additive was developed based on the by-products of the petrochemical production of Gazprom Neftkhim Salavat LLC. It has been shown effectiveness on diesel fuels of various composition and producers. The maximum depressor effect was 18 °C. The effect of the developed additive on the anti-wear properties of diesel fuel also had a positive effect with a reduction in corrected wear scar diameter to 24%. The physico-chemical properties of diesel fuels with the introduction of 0.2% by weight of the developed additive meet the requirements of GOST 32511-2013. The significant important task – the rational use of by-products is solved with the developed additive.

**Keywords:** diesel fuel, cold flow improver, low molecular weight polyethylene, cold filter plugging point, corrected wear scar diameter

## REFERENCES

- 1 Baulin O.A. Lubricity of low-sulfur diesel fuels and methods of its improvement: dis. kand. tehn. nauk: 05.17.07. – Ufa, 2006. – 118с.
- 2 Danilov, A. M. Application of additives in fuels / A. M. Danilov. – M.: Mir, 2005. – 288s.
- 3 Zhuse, T. P. Low-temperature properties of petroleum products/ T. P. Zhuse. – M.: Gostoptehizdat, 1949 – 149s.
- 4 Materials of the conference «Fuel additives 2017», Moscow, 2017
- 5 Minibaeva L.K. Development of cetane improvers for diesel fuels: dis. kand. tehn. nauk: 05.17.07. – Ufa, 2015. – 96 p.
- 7 The main trends in the development of the world market of liquid hydrocarbons until 2035 [Electronic resource]. – <https://lukoil.ru/Business/Futuremarkettrends>

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 666.982.035.5

DOI: 10.34708/GSTOU.2021.55.50.007

### ГЕЛИОСИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА

© <sup>1</sup>А. Ж. Айменов, <sup>1</sup>Ж. Т. Айменов, <sup>2</sup>Х. Э. Таймасханов, <sup>2</sup>Р. С-А. Муртазаева

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им М. Ауезова, Шымкент, Казахстан

<sup>2</sup>ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Приведены результаты исследования влияния предложенных гелиосистем для повышения эффективности использования солнечной энергии в технологии бетона. При этом исследованы температурные поля бетона изделий, выдерживаемых под гелиопокрытием с межплочным переменным сечением (МПС). Изучены влияние модуля открытой поверхности на температурный режим твердения, распределение температуры по сечению. Опыты показали эффективность использования солнечной энергии применением гелиотехнической системы для интенсификации твердения бетона в условиях сухого жаркого климата.

**Ключевые слова:** гелиопокрытие, температурный режим, теплосодержание, тепловое воздействие, прочность.

Как показывает многочисленный опыт производства сборных железобетонных конструкций в регионах сухого жаркого климата, интенсифицировать твердения бетона железобетонных конструкций можно и нужно с применением различных гелиосистем типа гелиокрышка МПС [1, 2, 3, 4]. Такой подход позволяет частично или полностью отказаться от традиционной энергозатратной технологии тепловлажностной обработки бетона, обеспечивая тем самым комплексное решение экономико-экологических проблем производства ЖБИ в заводских условиях.

Для подтверждения данной гипотезы исследовались образцы из керамзитобетонных смесей на цементе марки 400 (В30). В гелиопокрытии в качестве светопрозрачного материала применялась полиэтиленовая пленка толщиной 100 мкм. Температура твердеющего бетона и окружающей среды измерялась с использованием точечного автоматического

самопишущего потенциометром КСП-4, рассчитанного на шесть термопар. Так как прогрев бетона зависит от массивности изделий, был создан специальный стенд, позволяющий моделировать условия твердения бетона в реальных конструкциях.

Проведение исследований осуществлялось постадийно, где на первой стадии изделия выдерживаются под покрытием МПС до 16 часов. При этом использовалось покрытие типа СВИТАП с замкнутой воздушной прослойкой с пленкой ПВХ в качестве светопрозрачного материала и вариант без покрытия [5, 6, 7].

На первой стадии в течение светового дня автономно нагревались галечная полоса – аккумулятор и установка с откидными отражателями – термопокрытиями (ООТ), с целью аккумуляции солнечной энергии в установке с нагревом воды до 80°C [8, 9, 11].

На второй стадии при максимальном разогреве полосы – аккумулятора (в 16 часов дня)

гелиоформа устанавливается на полосу. Как показывают расчеты, ввиду большой теплоемкости гелиоформы с изделием, тепло аккумуляированного галькой, обеспечивает эффективную работу гелиосистемы только на 4 часа. Поэтому для восполнения требуемого тепла и обеспечения выравнивания температуры по сечению образца в 20 часов (после четырех часов выдерживания на полосе – гальке) осуществляется подвод тепла к гелиоформе от тепловых отсеков ООТ.

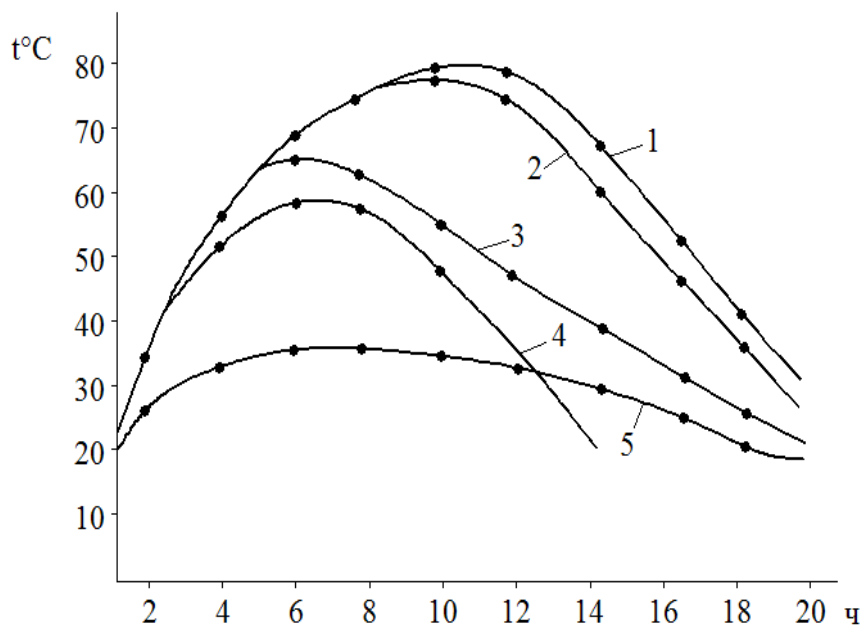
На рисунке 1 показаны температурные режимы твердеющих бетонных образцов, выдержанных под гелиопокрытием МПС в сравнении с другими покрытиями. Из рисунка видно, что при применении двухслойного гелиопокрытия температура бетона для центральных зон образца прогревается со средней скоростью  $10,2^{\circ}\text{C}$  в час. Максимальная температура бетона под этим гелиопокрытием достигает  $78^{\circ}\text{C}$  при максимальной температуре наружного воздуха  $30-34^{\circ}\text{C}$ . В известной степени негативное влияние на набор прочности

оказывает модуль открытой поверхности ( $M_{от}$ ), и с увеличением его значения, как известно, такое влияние увеличивается [3, 10].

Продолжительность твердения бетона при температуре  $78^{\circ}\text{C}$  и выше составляет 6 часов, а при  $40^{\circ}\text{C}$  – более 14 часов. В условиях эксперимента минимальная температура бетона к утру следующего дня была более  $54^{\circ}\text{C}$ . Условное теплосодержание бетона на одни сутки твердения под гелиопокрытием равно 928 градусо-часов, что составляет 94% от такого же показателя бетона сборных изделий (990 градуса часов), подвергнутых термовлажностной обработке при температуре  $80^{\circ}\text{C}$  по режиму 2+3+6+2 часа.

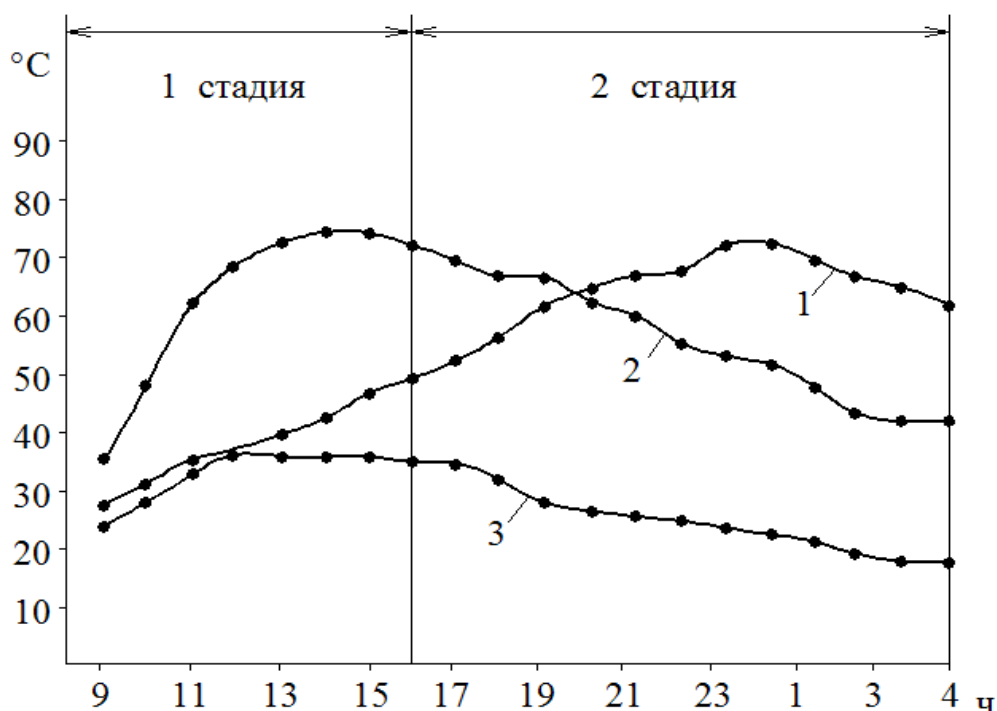
Если бетон сборных изделий, прошедший тепловую обработку по вышеуказанному режиму, через сутки имеет прочность 70% от марочной, то бетон при твердении под двухслойным гелиопокрытием, очевидно, будет иметь прочность, близкую к этому показателю.

Следовательно, создается возможность интенсификации твердения бетона при созда-



**Рис. 1.** Влияние модуля открытой поверхности  $M_{от} > 11$  бетона на температурный режим твердения

- 1 – выдерживание под гелиопокрытием МПС; 2 – выдерживание под гелиопокрытием СВИТАП;
- 3 – выдерживание под пленкой ПВХ; 4 – выдерживание без покрытия;
- 5 – температура окружающей среды.



**Рис. 2.** Распределение температуры по сечению изделия при двухстороннем тепловом воздействии на бетон

1 – температура верхнего слоя бетона; 2 – температура нижнего слоя (у дна гелиоформы);  
3 – температура наружного воздуха

нии вышеупомянутых условий и значительно сокращения времени ухода за ним в условиях сухого жаркого климата.

Условное теплосодержание бетонного образца при твердении под полиэтиленовой пленкой и без покрытия равно соответственно 876 и 682 градусо-часам, что составляет также соответственно 94% и 73,5% от теплосодержания бетона, твердевшего с МПС. Температурные поля по толщине бетона, твердевшего с однослойным гелиопокрытием, показаны на рисунке 2.

При двустороннем прогреве верхние и нижние слои в течение суток имеют примерно такое же теплоснабжение, как и его центральные зоны. Максимальная разница в значениях температур по толщине при прогреве образца составляет 25°C. Максимальная скорость подъема температуры поверхностных слоев – 13°C/час, и нижележащих слоев – 7°C/час. Следовательно, при применении гелиотехни-

ческой системы скорость прогрева бетона и разница температур по толщине образца не должны отрицательно сказываться на основных физико-механических свойствах и долговечности бетона. Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о возможности ускорения твердения бетона с использованием галечного аккумулятора и установки ООТ, которое позволяет эффективно использовать солнечную энергию для выравнивания температуры по сечению изделия.

В таблице 1 приведены результаты испытаний бетона на сжатие. При выдерживании образцов под вышеуказанными покрытиями через одни сутки максимальную прочность имеет бетон, твердевший с применением гелиокрышки МПС (77%). Во всех остальных случаях односуточное выдерживание бетона под покрытием не обеспечивает достижения требуемой прочности. Для приобретения ее под пленкой требуется уход в течение двух суток.

Таблица 1.

Кинетика нарастания прочности бетона на сжатие, твердевшего с МПС и в гелиосистеме при 2-х стадиях

Твердение бетона	Продолжительность ухода, сутки	Прочность на сжатие (в числителе МПа, в знаменателе, % от НУ) через:		
		1 сутки	2 сутки	28 суток
В гелиосистеме	1-3	13,3/77,0	20,2/79,8	26,0/102,8
Под МПС (автономно)	1-3	11,3/4,7	16,8/66,4	26,1/103,2
Без ухода	-	6,5/25,7	12,2/48,2	14,3/56,5
В нормальных условиях (НУ)	28	-	-	25,3/100

Таблица 2.

Прочность бетона в зависимости от градусо-часов (в числителе – МПа, в знаменателе, %)

Условия твердения	Условное теплосодержание, градусо-часы	Продолжительность термообработки, сутки	
		1	28
В гелиосистеме	928	13.3/77.0	25.3/100
В камере при 55°C по режиму 3+6+3 ч	942	14.1/557.6	24.8/100

Для изучения зависимости степени нарастания прочности бетона при гелиотермообработке от условного теплосодержания были проведены специальные эксперименты. В одном случае бетон твердел в естественных условиях с температурными режимами, показанными на рисунке 1, 2, а в другом – бетон подвергали тепловой обработке в камере.

При этом режим твердения задавали с таким расчетом, чтобы бетон через сутки имел условное теплосодержание, равное 928 градусо-часам. Приготовленная бетонная смесь имела температуру 29°C. Сформованные бетонные кубы с ребром 10 см выдерживали три часа, затем их подвергали тепловой обработке при температуре 60°C при режиме 3+6+3 часа. После остывания бетона до 30°C его температура практически не изменялась. Таким образом, за одни сутки твердения бетон имел теплоснабжение 942 градусо-часа, практически равное

теплосодержанию бетона, твердевшего в естественных условиях с гелиопокрытием МПС.

Результаты испытания бетона (табл. 2) свидетельствуют, что при гелиотермообработке бетона с температурой разогрева до 77°C обеспечивается достижение требуемых показателей условного показателя теплосодержания бетонного образца (градусо-часы).

### Выводы

1. Использование галечного аккумулятора и установки ООТ обеспечивает твердение бетона в благоприятных температурно-влажностных условиях в течение светового дня и ночного периода времени с незначительным градиентом температур по толщине изделия.

2. Применение предложенной гелиотехнической системы позволяет повысить эффективность использования солнечной энергии для ускорения твердения бетона в условиях сухого и жаркого климата.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Айменов Ж. Т.* Солнечная энергия как источник решения энергетических проблем в строительстве // Математика и информатика. Алматы, 1999. № 2. С. 3-6.
2. *Айменов Ж. Т.* Эффективные методы ускорения твердения бетона путем использования солнечной энергии // Вестник КазНАЕН. Астана, 2012. № 1. С. 45-47.
3. *Заседателев И. Б.* Увеличение периода сезонной эксплуатации гелиополигонов / *И. Б. Заседателев, С-А. Ю. Муртазаев, А. В. Ткачев, М. М. Малороев* // Специальные бетоны и сооружения. М: ВНИПИ Теплопроект, 1985. С. 3-19.
4. *Муртазаев С-А. Ю., Алиев С. А., Нахаев М. Р.* Производство бетонных композитов на техногенном сырье с применением гелиотехнологии // Современные проблемы геологии, географии и геоэкологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения В. И. Вернадского, г. Грозный 25-28 марта 2013 г. Махачкала: АЛЕФ (ИП Овчинников М. А.). С. 298-302.
5. *Айменов Ж. Т.* Энергосберегающие ускорения твердения бетона путем использования солнечной энергии / *Ж. Т. Айменов, Б. К. Сарсенбаев, А. Ж. Айменов, Б. Н. Сарсенбаев, Ж. А. Алдияров, Г. Сауганова* // Сб. тр. Межд. научно-практ. конф. «Наукоемкие технологии и инновации». Белгород: БелГТУ им. Шухова, 2019. С. 8-13.
6. *Айменов Ж. Т.* Гелиотехнические системы и перспективы их применения для тепловой обработки бетонов на основе композиционных вяжущих / *Ж. Т. Айменов, Б. К. Сарсенбаев, Н. Б. Сарсенбаев, А. Ж. Айменов, Ж. А. Алдияров, Г. Р. Сауганова* // Сб. тр. Межд. научно-практ. конф. «Наукоемкие технологии и инновации». Белгород: БелГТУ им. Шухова, 2019. С. 14-19.
7. *Айменов Ж. Т., Алдияров А. Ж.* Гелиотехнические системы и перспективы их применения для тепловой обработки шлакощелочных бетонов // Сб. тр. Межд. научно-практ. конф. «Развитие науки и образования независимого Казахстана в условиях глобальных вызовов современности». Шымкент, 2013. 10 том. С. 98-101.
8. *Айменов Ж. Т., Алдияров Ж. А.* Гелиотехническая установка для отопления жилых зданий // Труды Международной научно-технической конференции «Наука и образование – эффективные рычаги реализации стратегии «Казахстан 2030». А.: Гылым, 1998. С. 218-224.
9. *Айменов Ж. Т., Алдияров Ж. А., Кенжетеев Г. Ж.* Гелиотехнические установки для преобразования солнечной энергии в тепловую // Сб. тр. 1-ой Регион. студ. конф. по естеств., техн., гуман. и соц. наукам. Шымкент, 1999. С. 50-52.
10. *Айменов Ж. Т., Алдияров А. Ж., Кенжетеев Г. Ж.* Расчет тепловых процессов в гелиотехнической системе // Вестник МКТУ. № 2. 1999. С. 97-99.
11. *Алиев А. С.* Особенности распределения солнечной радиации на различно-ориентированные поверхности при тепловой обработке / *А. С. Алиев, М. Ш. Саламанова, Р. С-А. Муртазаева, З. Х. Исмаилова* // Вестник Комплексного научно-исследовательского института им. Х. И. Ибрагимова Российской академии наук. № 1 (5). 2021. С. 27-34. DOI: 10.34824/VKNPIRAN. 2021.5.1.003

## HELIOSYSTEMS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF THE USE OF SOLAR ENERGY IN CONCRETE TECHNOLOGY

© <sup>1</sup>A. Zh. Aimenov, <sup>1</sup>Zh. T. Aimenov, <sup>2</sup>Kh. E. Taimaskhanov, <sup>2</sup>R. S.-A. Murtazaeva

<sup>1</sup>*M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia*

The results of the study of the influence of the proposed heliosystems for increasing the efficiency of using solar energy in concrete technology are presented. In this case, the temperature fields of the concrete of products maintained under solar coating and under the MPS were investigated. The effect of the open surface modulus on the temperature regime of hardening, the temperature distribution over the cross section, was studied. The experiments showed the efficiency of the use of solar energy by using a solar system for the intensification of concrete hardening in a dry, hot climate.

**Keywords:** solar coating, temperature conditions, heat content, heat exposure, temperature conditions, strength.

### REFERENCES

1. Aimenov, Zh. T. (1999) 'Solnechnaya energiya kak istochnik resheniya energeticheskikh problem v stroitel'stve', *Zh.: Matematika i informatika*. [Solar energy as a source of solving energy problems in construction. Mathematics and Informatics], No. 2, Almaty P. 3-6.
2. Aimenov, Zh. T. (2012) 'Effektivnye metody uskoreniya tverdeniya betona putem ispol'zovaniya solnechnoi energii'. *Zh.: Vestnik KazNAEN*. [Effective methods of accelerating concrete hardening by using solar energy. J.: Bulletin of KazNAEN], Astana, No. 1, pp. 45-47.
3. Zasedatelev, I. B., Murtazaev, S.-A. Yu., Tkachev, A. V. and Maloroev, M. M. (1985) 'Uvelichenie perioda sezonnoi ekspluatatsii geliopoligonov'. *Spetsial'nye betony i sooruzheniya*, [Increasing the period of seasonal operation of heliopolygons. Special concrete and structures]. Moscow. P. 3-19.
4. Murtazaev, S.-A. Yu., Aliev, S. A. and Nahaev. M. R. (2013) 'Production of concrete composites on technogenic raw materials with the use of solar technology. Proizvodstvo betonnykh kompozitov na tekhnogennom syr'e s primeneniem geliotekhnologii'. *Sovremennyye problemy geologii, geografii i geoekologii. Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 150-letiyu so dnya rozhdeniya V.I. Vernadskogo. g. Groznyi 25-28 marta 2013 g.* [Modern problems of geology, geography and geoecology. Materials of the All-Russian scientific-practical conference dedicated to the 150th anniversary of the birth of V. I. Vernadsky]. Grozny. March 25-28, Makhachkala: ALEF (IE Ovchinnikov M. A.). P. 298-302
5. Aimenov, Zh. T., Sarsenbaev, B. K., Aimenov, A. Zh., Sarsenbaev, B. N., Aldiyarov, Zh. A. and Sauganova, G. (2019) 'Energoberegayushchie uskoreniya tverdeniya betona putem ispol'zovaniya solnechnoi energii'. *Sb. tr. Mezhd. nauchno-prakt. konf. «Naukoemkie tekhnologii i innovatsii», BelGTU, im. Shukhova*. [Energy-saving acceleration of concrete hardening by using solar energy. Proceedings of scientific and practical. conf. "Science-intensive technologies and innovations"], BelSTU, them. Shukhova, Belgorod, pp. 8-13.
6. Aimenov, Zh. T., Sarsenbaev, B. K., Sarsenbaev, N. B., Aimenov, A. Zh., Aldiyarov, Zh. A. and Sauganova, G. R. (2019) 'Geliotekhnicheskie sistemy i perspektivy ikh primeneniya dlya teplovoi obrabotki betonov na osnove kompozitsionnykh vyazhushchikh'. *Sb. tr. Mezhd. nauchno-prakt. konf. «Naukoemkie tekhnologii i innovatsii», BelGTU, im. Shukhova*. [Solar systems and prospects for their application for heat treatment of concretes based on composite binders. Proceedings of scientific and practical. conf. "Science-intensive technologies and innovations"], BelSTU, them. Shukhova, Belgorod, p. 14-19.

7. Aymenov, Zh. T. and Aldiyarov, A. Zh. (2013) 'Geliotekhnicheskie sistemy i perspektivy ikh primeneniya dlya teplovoi obrabotki shlakoshchelochnykh betonov'. *Sb. tr. mezhd. nauchno-prakt. konf. «Razvitie nauki i obrazovaniya nezavisimogo Kazakhstana v usloviyakh global'nykh vyzovov sovremennosti»* [Heliochemical systems and prospects of their application for heat treatment of slag-alkaline concretes. Proceedings of int. scientific and practical conf. "Development of science and education of independent Kazakhstan in the context of global challenges of our time"], Shymkent, volume 10, pp. 98-101.
8. Aimenov, Zh. T. and Aldiyarov, Zh. A. (1998) 'Geliotekhnicheskaya ustanovka dlya otopleniya zhilykh zdaniy' *Trudy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Nauka i obrazovanie – effektivnye rychnagi realizatsii strategii «Kazakhstan 2030»*. [Solar plant for heating residential buildings. Proceedings of the international scientific and technical conference "Science and education – effective levers for the implementation of the strategy" Kazakhstan 2030 "]. Gylym, Almaty, Pp. 218-224.
9. Aymenov, Zh. T., Aldiyarov, Zh. A. and Kenzhetaev, G. Zh. (1999) 'Geliotekhnicheskie ustanovki dlya preobrazovaniya solnechnoi energii v teplovuyu'. *Sb. tr. I-oi Region. stud. konf. po estestv., tekhn., guman. i sots. Naukam.* [Solar installations for converting solar energy into thermal energy. Proceedings of the 1st Region. stud. conf. in nature., tech., human. and social sciences], Shymkent, pp. 50-52.
10. Aimenov, Zh. T. Aldiyarov and A. Zh. Kenzhetaev, G. Zh. (1999) 'Raschet teplovykh protsessov v geliotekhnicheskoi sisteme' [Calculation of thermal processes in the solar system]. *Vestnik MKTU*, No. 2, pp. 97-99.
11. Aliev, A. S, Salamanova, M. Sh., Murtazaeva, R. S-A. and Ismailova, Z. Kh, (2021) / Osobennosti raspredeleniya solnechnoi radiatsii na razlichno-orientirovannye poverkhnosti pri teplovoi obrabotke'. [Features of the distribution of solar radiation on variously oriented surfaces during heat treatment]. *Vestnik Kompleksnogo nauchno-issledovatel'skogo instituta im. Kh. I. Ibragimova Rossiiskoi akademii nauk*. No. 1 (5), p. 27-34. DOI: 10.34824 / VKNIIRAN. 2021.5.1.003



## АРХИТЕКТУРНЫЙ ДЕКОР МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫЙ 3D-ПРИНТЕР

© М. Н. Кокоев

*КБГУ им. Х. М. Бербекова, Нальчик, Россия*

Рассматривается технология изготовления строительным 3D-принтером стен малоэтажных зданий с архитектурным декором. Каждую стену здания изготавливают в горизонтальном положении на площадке, покрытой антиадгезионным материалом. Вначале строят на площадке с помощью 3D-принтера несъемную опалубку из бетона по периметру стены. На площадке размещают оконные и дверные коробки, закладные элементы для монтажа электропроводки и других устройств. Укладывают нижний и верхний слои бетона с арматурными сетками, а промежуточный слой из пенобетона или иного материала с малой теплопроводностью. На поверхности уложенного бетона выполняют с помощью 3D-принтера рельефный архитектурный декор с использованием обычного или цветного бетона. При сборке малоэтажного здания готовые стены ставят в вертикальное положение и угловые стыки армируют. Для этого связывают сваркой вертикальные арматурные стержни с концами сеток. Далее закрывают стык стен угловой опалубкой и полость в угловом стыке заполняют бетоном.

**Ключевые слова:** строительный 3D-принтер, малоэтажный дом, стена, арматура, архитектурный декор.

В Архитектурно-планировочное управление города Москвы в 1956 году был назначен руководителем опытный строитель и проектировщик В. П. Лагутенко. Именно в этой должности Лагутенко довел до логического завершения своё главное детище – проект дешёвого массового дома с отдельными квартирами для каждой семьи. Таковым стал типовой многоквартирный дом серии К-7. Первый опытный дом данной серии был построен в Москве на улице Гримау. Серия была признана удачной, и «хрущевки» в различных модификациях стали строиться повсеместно.

С этого момента архитектура в СССР на долгие годы почти прекращает свое существование. Начинается заводское изготовление больших панельных пятиэтажек, первоначально рассчитанных на 40 лет эксплуатации. Именно тогда стали появляться в городах от Брянска до Владивостока целые микрорайоны с одинаковыми панельными домами, с одинаковыми типовыми школами, детскими садами и поликлиниками. Как заметил историк и архитектурный критик Г. И. Ревзин [1], районы хрущевских пятиэтажек стали реваншем мирового архитектурного авангарда за сталинский разгром

конструктивизма в конце 20-х годов – в начале 30-х прошлого века.

Но были в новой строительной политике и замечательные положительные стороны. Люди массово переселялись из бараков и коммуналок в отдельные квартиры, хоть и малогабаритные, с маленькими кухнями и совмещенными санузлами. За 25 лет в стране было построено 10% всего жилищного фонда – так быстро и много, как в период хрущевской индустриализации в СССР, не строили никогда. Острейший жилищный кризис в стране стал медленно спадать, но до его удовлетворительного решения было еще далеко. Надо отметить, что даже в середине 1980-х годов число коммунальных квартир в центральных районах, например, Ленинграда составляло 40% от их общего числа.

За год до этого случилось незаурядное событие в архитектуре и строительной отрасли страны, открывшее путь к массовому строительству типового дома серии К-7. Дело в том, что в ноябре 1955 вышло известное Постановление ЦК КПСС и СМ «Об устранении излишеств в проектировании и строительстве». В нем отмечалось, что в работах многих архитекторов и проектных организаций получила

широкое распространение внешне показная сторона архитектуры, избыливающая большими излишествами, что не соответствует линии Партии и Правительства в архитектурно-строительном деле. «Например, в Москве в жилых домах по улице Горького (архитектор Жуков), по Можайскому шоссе (архитектор Чечулин), по Ленинградскому шоссе (архитекторы Готлиб и Хилькевич) и в ряде других домов в угоду показному украшательству, применены многочисленные колонны, портики, сложные карнизы и другие дорогостоящие детали, придающие домам архаический вид. В то же время не было уделено должного внимания удобной планировке квартир в этих домах и благоустройству территорий... Крупные излишества были допущены при проектировании и строительстве высотных зданий, как их называли позже «семь сестер». Так, например, на строительство гостиницы «Ленинградская» на 354 номера на Каланчевской площади в Москве (архитекторы Поляков и Борецкий) затрачено столько же средств, сколько понадобилось бы на строительство экономично запроектированной гостиницы на 1000 номеров... Особенно большие излишества были допущены архитектором Рыбицким в построенном доме по улице Чкалова, для отделки которого применены дорогостоящие материалы, сложные архитектурные украшения и декоративные аркады; при планировке квартир недопустимо завышены площади передних, коридоров и других вспомогательных помещений. Советской архитектуре должна быть свойственна простота, строгость форм и экономичность решений».

По этому Постановлению архитекторов Полякова, Борецкого и Рыбицкого лишили звания лауреатов Сталинской премии за ранее спроектированные и построенные здания. За создание проекта и руководство строительством в 1950-1955 гг. красивейшего санатория «Украина» (с 2015 г. называется санаторий «Родина»), расположенного на южном берегу Крыма в 20 км от Ялты, архитектора Б.В. Ефимовича, создавшего этот шедевр советского неоклассицизма, лишили всех званий. Он был исключен из всех справочников по архитектуре СССР и отправлен на пенсию.

Постановление 1955 г. завершило эпоху советского монументального классицизма или, как этот стиль часто называют, сталинского

ампира [2]. Было решено направить все ресурсы на развитие промышленных методов строительства. Почти полностью было прекращено индивидуальное проектирование жилых зданий. Но еще в течение трех лет архитекторы старой школы пытались рисовать панельные здания, в которых содержится легкий намек на облагороженность в виде классических карнизов или крайне сдержанных наличников. Такие здания переходного периода изредка встречаются в некоторых городах. Но логика партийной борьбы с украшательством продолжала действовать неумолимо.

С начала 1980-х гг. типовая застройка начала отступать, некоторые архитекторы, наконец, могли работать по принципам творческой независимости. Российские архитекторы хотели строить как Ле Корбюзье, этот пионер архитектурного модернизма и функционализма [3], Гропиус, Людвиг Мис Ван дер Роэ, застраивать Москву так же как застраивали Западный Берлин и пригороды Парижа [4]. Например, один из шедевров Людвиг Мис, выражающий главную концепцию его творчества, гениальный по простоте и необычный для 1951 года – «Стеклянный дом» Эдит Фарнсуорт в штате Иллинойс.

В частности, говоря о начале панельного домостроения в Москве, надо вспомнить Ле Корбюзье. В 1914 году Корбюзье узнал о новинке тех лет – о железобетоне, который незадолго до этого всё шире начал применяться в строительстве в Европе. В этот период Корбюзье создал и запатентовал весьма существенный для его творческой биографии проект «Дом-Ино» (англ. Dom-Ino House). В этом проекте впервые предугадал (совместно с инженером М. Дюбуа) большие возможности строительства из крупноразмерных сборных элементов, сделанных из железобетона – лестничных маршей, плит перекрытий, колонн и др. Через много лет этот новаторский прием послужил основой индустриального домостроения во многих странах мира, в том числе и в СССР.

Наступил 21 век, появились новые строительные материалы и технологии, в том числе с широким применением компьютеров с программным обеспечением не только для создания архитектурных проектов, но и для применения непосредственно на строительных пло-

щадках. В этом плане заметным новшеством было создание так называемых строительных 3D-принтеров, с которыми интенсивно начали работать экспериментаторы, пытаясь современную технологию использовать для реализации новых архитектурных и строительных идей.

Строительный 3D-принтер большого размера работает не с пластмассами и не с металлическими порошками, что довольно обычно в 21 веке, а с бетоном или другими вяжущими. В строительном 3D-принтере формирующая головка может перемещаться по трем осям с амплитудой от 5 до 20 и более метров [5]. Но есть также строительные принтеры, у которых формирующая головка перемещается в соответствии с полярными координатами. Полые стены и перегородки дома формируют лентой из быстротвердеющего бетона, содержащего упрочняющие волокна и различные добавки.

Преимущества бетона с волокнами известны, но для строительного принтера добавка волокон, кроме прочего, повышает пластичность и связность бетона. Это улучшает равномерность подачи смеси через формирующую головку, позволяет увеличить толщину и ширину укладываемого слоя. Предпочтительны волокна из базальта или из щелочестойкого стекла. У базальтовых волокон высока стойкость к воздействию щелочной среды бетона. Базальтовые волокна имеют прочность на разрыв до 1700 МПа. Это выше прочности арматурной стали VII класса. Малое время схватывания быстротвердеющих смесей позволяет печатать участки стены сравнительно большой высоты без промежуточных длительных пауз.

Особый интерес для применения в строительных 3D-принтерах имеют улучшенные высокопрочные смеси с модифицирующими и минеральными добавками. Применение таких составов для печати элементов зданий обеспечивает необходимую несущую способность, трещиностойкость и морозостойкость. Испытания контрольных образцов из высокопрочных бетонных смесей показали, что прочность при сжатии в возрасте 28 суток достигает 10 МПа (около 100 кгс/см<sup>2</sup>), а прочность на растяжение при изгибе 3,5 МПа. Для малоэтажного здания этого достаточно. Морозостойкость обеспечивается на уровне 35...40 циклов, гигроскопичность не более 10% [6].

Итак, каждый новый тонкий слой бетона кладут формирующей (экструзионной) головкой на предыдущую ленту бетона. Выходящий из формирующей головки бетон заданного состава и консистенции имеет сечение несколько квадратных сантиметров [7]. Бывают принтеры с более массивной лентой бетона. Укладывают ленту в 10-20 слоев и дают время для схватывания бетона, затем процесс продолжают.

Бетон, используемый в данной технологии, должен обладать быстрым набором прочности, чтобы уложенные слои могли нести нагрузку от последующих слоев бетона. Ширина укладываемой ленты из бетона невелика, поэтому стену кладут полую с диагональными перемычками [8]. Полости в стене заполняют обычным бетоном, пенобетоном или иным материалом с малой теплопроводностью. Неоспоримое преимущество строительного 3D-принтера – полное отсутствие специально изготовленной опалубки даже при возведении стен, имеющих на плане форму почти произвольной кривой. Преимуществами использования 3D-принтеров в малоэтажном строительстве можно считать их точность, скорость и возможность достижения полной автоматизации. Снижение доли ручного труда в строительстве, который пока неизбежен, приведет к снижению стоимости строительства. Делаются попытки использования строительным 3D-принтером не только бетона, но и других композиционных материалов, в частности известны эксперименты с бетоном [9], в котором в том или ином виде применяют добавки древесного материала.

Некоторые недостатки существующей технологии возведения зданий и их деталей с помощью строительного 3D-принтера:

а) изготовление вертикальных стен здания требует применения 3D-принтера не меньшего размера, чем высота стены. Это увеличивает габариты и массу принтера и снижает его производительность и точность из-за ухудшения динамических характеристик;

б) формирование стены 3D-принтером наложением бетона в виде ленты на нижележащие слои бетона требует применения быстротвердеющих составов, что сужает число возможных к применению бетонов;

в) при строительстве вертикальных стен с помощью 3D-принтера возникают большие трудности с армированием, так как установ-

ка арматуры, особенно вертикальной, сильно ограничивает свободу перемещения экструзионной головки принтера;

г) короткие диагональные перемычки из бетона между стенками, выполняемые принтером, представляют собой существенные «мостики холода»;

д) поверхность строения требует отделочных работ из-за линейчатого и неровного рельефа, который получается при строительстве стен послойной укладкой ленты бетона. Действительно, большинство построенных строительным принтером домов имеют довольно грубый линейчатый рельеф стен. Выравнивание стен штукатуркой или иным образом увеличивает трудоемкость отделочных работ;

е) способ практически непригоден для выполнения архитектурного декора, если не считать декором сами стены, изогнутые в плане по замыслу архитектора, так как строительный принтер не может укладывать бетон на вертикальные поверхности стен. Поэтому существующие методы сильно ограничены в выполнении архитектурного декора, придающего строениям индивидуальность и привлекательность. Растущий спрос на такие здания, особенно на коттеджи, есть. Поэтому решение проблемы машинного изготовления архитектурного декора и элементов здания сложной формы по командам компьютера весьма актуально.

Ниже рассматривается модернизированная технология изготовления элементов малоэтажных зданий с помощью строительного 3D-принтера. Технология позволит армировать стены, закладывая в отсеки стены теплоизоляцию в два слоя и, кроме того, наружную сторону стен декорировать с помощью 3D-принтера в едином процессе. Для этого каждую стену здания изготавливают в горизонтальном положении на площадке, покрытой антиадгезионным материалом, например, толстой полиэтиленовой пленкой. Эта поверхность формирует внутреннюю сторону будущей стены. Далее на площадке строят с помощью 3D-принтера низкую несъемную опалубку из бетона по периметру будущей стены. Конечную высоту опалубки, равной толщине будущей стены, из-за необходимости укладки двух арматурных сеток выполняют в три приема.

Затем на площадке размещают горизонтально оконные и дверные коробки, а также закладные элементы для монтажа электропроводки и других устройств инфраструктуры. Заполняют площадку слоем бетона, соответствующей части толщины стены. Внутри этого слоя бетона размещают горизонтально арматурную сетку с выведенными концами арматуры за пределы опалубки. Армирование можно делать не только стальной сеткой, но использовать текстильные сетки из неметаллических материалов. Например, из стеклянных, базальтовых и углеродных волокон. Поверх кладут слой пенобетона, легкого керамзитобетона или иного материала с малой теплопроводностью, далее укладывают третий слой бетона с арматурной сеткой. На поверхности уложенного бетона выполняют с помощью 3D-принтера рельефный архитектурный декор с использованием обычного или цветного бетона. 3D-принтер может выложить на горизонтальной поверхности стены пилястры, в том числе с каннелюрами, имитацию руста, карнизы, портики и др. То есть всего того, что невозможно было выполнить хоть в малой степени в однообразных панельных домах Лагутенко и других типовых серий, возводимых на всей территории большой страны по Постановлению 1955 года.

Возможен вариант, когда между нижним и верхним слоями бетона с помощью 3D-принтера выполняют по меньшей мере два слоя перегородок из бетона для размещения в полученных отсеках теплоизоляции в виде плиток или герметичных пакетов, заполненных теплоизоляцией. Для уменьшения общей толщины стены в отсеки могут быть заложены пакеты эффективной вакуумно-порошковой теплоизоляции [10], которую в некоторых странах, особенно в ФРГ, последние 10 лет производят серийно. Для увеличения длины «мостиков холода» во втором слое перегородки между отсеками с закладной теплоизоляцией смещают относительно нижнего слоя теплоизоляции, например, на половину размера отсека, при этом между двумя слоями теплоизоляции, укладываемой в отсеки, размещают промежуточный слой бетона.

При монтаже малоэтажного здания готовые стены ставят в вертикальное положение,

угловые стыки армируют, для чего связывают сваркой или иным образом вертикальные арматурные стержни с сетками, выступающими из торцов стен, закрывают стык стен угловой опалубкой и далее полость в угловом стыке заполняют бетоном. Производство можно осуществлять непосредственно на месте строительства здания, если территория позволяет, или в условиях производственного участка.

С 1923 г. ведет свою историю в архитектуре так называемый геодезический купол, когда на крыше главного здания фирмы Carl Zeiss в Йене был построен первый в мире проекционный планетарий «Zeiss I». С тех пор появились

десятки конструктивных решений геокуполов, а вместе с тем появились варианты закрытия многоугольных проемов в каркасе геокупола. Обычно проемы в геокуполах применяют шести и пятиугольные. Проемы могут быть глухими или со встроенными окнами [11]. С помощью строительного 3D-принтера в горизонтальном положении удобно делать не только стены для зданий, но и мембраны для геокупола различных размеров и модификаций. Мембраны могут быть из армобетона с закладной вакуумно-порошковой теплоизоляцией или в виде плиток из пеностекла или из других эффективных теплоизоляторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Гейдор Т., Казусь И.* Стили московской архитектуры. М.: Искусство. XXI век. 2014. 616 с.
2. *Ревзин Г. И.* Как построили архитекторов // *Коммерсантъ Власть*. №44. 2005. С. 64.
3. *Le Corbusier.* The Modulor: A Harmonious Measure to the Human Scale, Universally Applicable to Architecture and Mechanics (1954). Basel & Boston: Birkhäuser, 2004. 133 p.
4. *Andrew Ayers.* The Architecture of Paris: An Architectural Guide. Stuttgart/London: Edition Axel Menges. 2004. 514 с.
5. *Dominguez I., Romero L., Espinosa M., Dominguez M.* 3D printing of models and prototypes in architecture and construction. *Revista de la construccion*. 2013. Vol. 12. Pp. 41-55.
6. *Perrot A., Rangeard D., Pierre A.* Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques // *Materials and Structures / Matériaux et Constructions*. 2016. Vol. 49. Pp. 1213-1220.
7. Некоторые аспекты печати на строительных 3D-принтерах серии S. 2016. <http://3dtoday.ru/blogs/zhvltl/some-aspects-of-printing-on-building-3d-printers-s-series/> (Date of treatment: April 22, 2021).
8. *Labonnote N., Ronnquist A., Manum B., Ruther P.* Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities // *Automation in Construction*. 2016. Vol. 72. Pp. 347-366.
9. *Henke K., Talke D., Winter S.* Additive manufacturing of building elements by extrusion of wood concrete. WCTE 2016. World Conference on Timber Engineering. 2016. Code 124667.
10. *Кокоев М. Н., Федоров В. Т.* Теплоизоляционное изделие с предельно низкой материалоемкостью // *Строительные материалы*. 1998. №9. С. 10-12.
11. *Федоров В. Т., Кокоев М. Н.* Геодезический купол из электростатического армированного бетона // *Строительство и реконструкция*. 2015, N 2 (58). С. 161-167.

## ARCHITECTURAL DECOR OF LOW-RISE BUILDINGS AND THE BUILDING 3D-PRINTER

© M. N. Kokoev

*Kabardino-Balkar State University named after H. M. Berbekov, Nalchik, Russia*

The article discusses the manufacturing technology for building the walls of low-rise buildings with architectural décor using 3D construction printer. Each wall of the building is made in a lying position on a site covered with anti-adhesive material. Initially, a permanent concrete formwork is built on site along the perimeter of the wall with a 3D printer. Then window and door frames, electrical, and plumbing embedded elements are positioned. Lay the lower and upper layers of concrete include a reinforcing mesh, and the intermediate layer is made of foam concrete or other material with lower thermal conductivity. The surface of the wall module can be covered with a décor printed using ordinary or colored concrete. When assembling a low-rise building, the finished walls are placed in a vertical position and the corner joints are reinforced. For this, vertical reinforcing bars are connected by welding to the ends of the meshes. Next, the wall joint is closed with corner formwork and the cavity in the corner joint is filled with concrete.

**Keywords:** 3D construction printer, low-rise building, wall, reinforcement steel, architectural décor.

### REFERENCES

1. Gejedor, T. and Kazus, I. (2014) *Stili moskovskoj arhitektury [Styles of Moscow architecture]*. Art. XXI century. Moscow. 616 p.
2. Revzin, G. I. (2005) 'Kak postroili arhitektorov'. ["How the Architects Were Built."]. *Kommersant' Vlast'*. N 44. P. 64.
3. (1954) Le Corbusier. *The Modulor: A Harmonious Measure to the Human Scale, Universally Applicable to Architecture and Mechanics*. Basel & Boston: Birkhäuser, 133 p.
4. Andrew, Ayers. (2004) *The Architecture of Paris: An Architectural Guide*. Stuttgart/London: Edition Axel Menges. 514 c.
5. Dominguez, I., Romero, L., Espinosa, M. and Dominguez M. (2013) 3D printing of models and prototypes in architecture and construction. *Revista de la construccion*. Vol. 12. Pp. 41-55.
6. Perrot, A., Rangedard, D. and Pierre, A. (2016) Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques. *Materials and Structures. Matériaux et Constructions*. Vol. 49. Pp. 1213-1220.
7. (2016) Nekotorye aspekty pechati na stroitel'nyh 3D-printerah serii S. [Some aspects of printing on construction 3D printers of the S.], available at: <<http://3dtoday.ru/blogs/zhvltl/some-aspects-of-printing-on-building-3d-printers-s-series/>> (accessed: April 22, 2021).
8. Labonnote, N., Ronnquist, A., Manum, B. and Ruther, P. (2016) Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities. *Automation in Construction*. Vol. 72. Pp. 347-366.
9. Henke, K., Talke, D. and Winter, S. (2016) Additive manufacturing of building elements by extrusion of wood concrete. WCTE 2016. *World Conference on Timber Engineering*. Code 124667.
10. Kokoev, M. N. and Fedorov, V. T. (1998) 'Teploizolyacionnoe izdelie s predel'no nizkoj materialoemkost'yu'. *Stroitel'nye materialy*. [Thermal insulation product with extremely low material consumption. Building materials.]. No. 9, Pp. pp. 10-12.
11. Fedorov, V. T. and Kokoev, M. N. (2015) 'Geodezicheskij kupol iz elektrostatičeskogo armirovannogo betona'. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. [Geodesic Dome of Electrostatic Reinforced Concrete. Building and reconstruction.]. N 2 (58). Pp. 161-167.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТИПОВОЙ СЕРИИ С ПЕРЕКРЕСТНЫМИ РЕШЕТКАМИ

© А.С. Марутян

Филиал СКФУ, Пятигорск, Россия

Представлено конструктивно-компоновочное решение стержней Y-образных и Ψ-образных очертаний в фермах с перекрестной решеткой или фермах с перекрестной решеткой и полустойками (полуподвесками), техническая новизна которого подтверждена результатами патентной экспертизы. Универсальность этого решения для ферменных конструкций обеспечивает ту эффективность, с какой оно применимо к грузовым верхним поясам, грузовым нижним поясам или грузовым верхним и нижним поясам одной и той же решетки. Повышена степень унификации типовой фермы из прокатных профилей за счет использования в верхнем поясе расчетных сечений, принятых для нижнего пояса. При этом ресурсы несущей способности разнятся между ними не более чем на полтора процента, что обеспечивает необходимую и достаточную равнопрочность обоих поясов для их более рациональной унификации. Выполнен сравнительный анализ основных результатов решения вариантного и оптимального проектирования ферменных конструкций применительно к решеткам с двойными системами полураскосов и решеткам с одинарными системами раскосов. Выявлена перспективность применения нового технического решения в составе несущих и связевых систем различных зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** фермы, решетчатые конструкции, стержневые конструкции, одинарная система раскосов, двойная система полураскосов, оптимизация, вариантное проектирование.

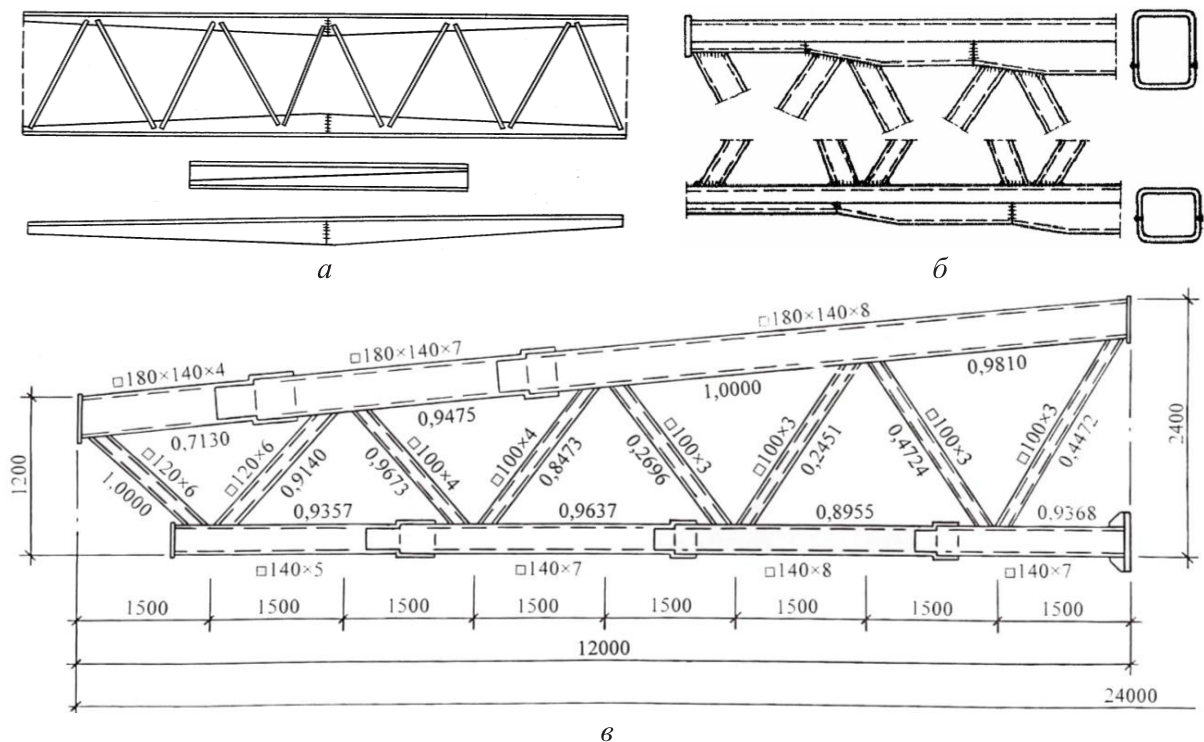
### Введение

Фермы и ферменные конструкции входят в число наиболее надежных несущих и связевых систем, отличающихся весьма распространенной областью рационального применения в различных зданиях и сооружениях [1-4], включая сейсмостойкое строительство [5-8]. При этом их вариантное и оптимальное проектирование продолжает постоянно совершенствоваться и обновлять свою актуальность, которая характеризуется значительным многообразием форм и содержаний [9-15]. В частности, из этого многообразия можно выделить технические решения ферменных конструкций с поясами переменных сечений из разновысотных элементов (рис. 1, а, б) [16, 17] или элементов разных толщин (рис. 1, в) [18]. За счет этих сечений, минимальных на опорных участках и максимальных в середине пролета, уменьшается масса (вес) конструкций и сокращается расход конструкционного материала (строительной стали).

Вариантное и оптимальное проектирование ферменных конструкций более заметно

отражается на их решетках, чем поясах, в том числе с учетом стержневых элементов I-образных, Y-образных, Ψ-образных и более сложных конфигураций (рис. 2) [19-24]. Систематизированное применение таких элементов обеспечивает оптимальные условия для унификации сжатых (сжато-изгибаемых) и растянутых поясов, уменьшает массу (вес) конструкций и сокращает расход конструкционного материала. Однако обратная сторона при этом заключается в некотором росте дополнительных затрат и трудоемкости из-за увеличения количества стержней и, как следствие, их узловых соединений. Отмеченный рост является неизбежным, но должен и может быть ограниченным для сохранения положительного эффекта от унификации поясов, что открывает определенную перспективу его реализации в практике строительства (рис. 3) [21].

Продолжить решение вариантных и оптимизационных задач целесообразно, перейдя от полураскосных и ромбических решеток к решеткам перекрестным, поскольку общая

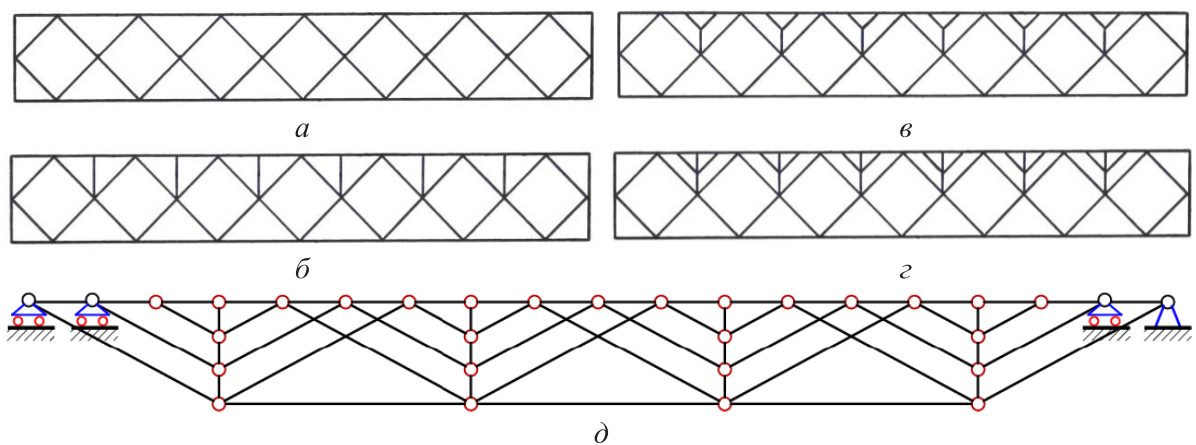


**Рис. 1.** Схемы ферменных конструкций с поясами регулярно-переменных сечений из двутавров, распущенных на тавры (а), а также с поясами ступенчато-переменных сечений из прямоугольных труб (б, в)

основа их компоновки состоит из двух систем раскосов или двойной системы полураскосов. Непосредственные крепления полураскосов между собой образуют дополнительно к соединительным узлам верхних и нижних поясов ряд промежуточных узлов, опорных в случае необходимости для полустоек или полуподвесок. Если рассматривать эти решетки в хроно-

логическом порядке, то можно полагать, что перекрестные нашли свое применение раньше других (рис. 4) [25].

За аналог для предлагаемого решения можно принять перекрестную решетку из двух систем раскосов, пересечения которых формируют в промежутке между узлами верхнего и нижнего поясов еще один ряд узлов в

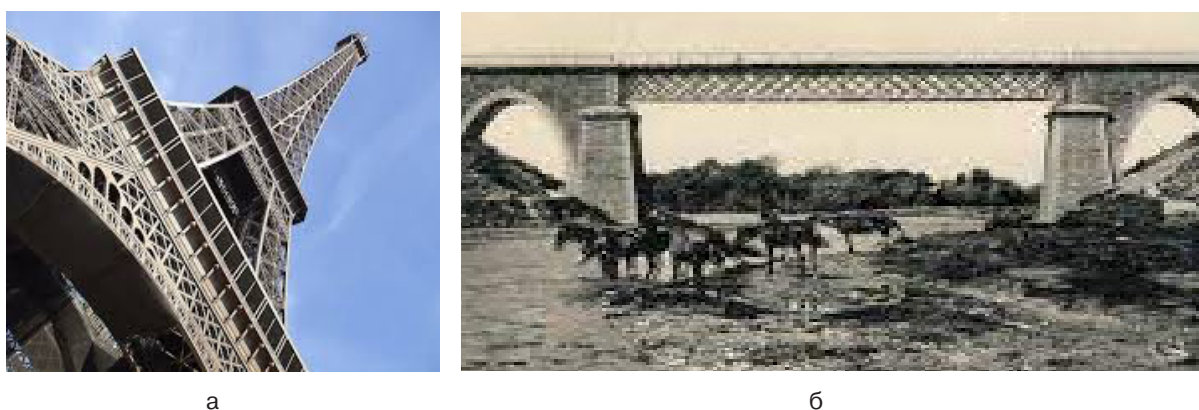


**Рис. 2.** Схемы ферменных конструкций с ромбическими решетками без полустоек (а), /с I-образными (прямолинейными) полустойками (б), с Y-образными полустойками (в), с Ψ-образными полустойками (г), а также с полустойками Ψ-подобных очертаний в тройной решетке (д)

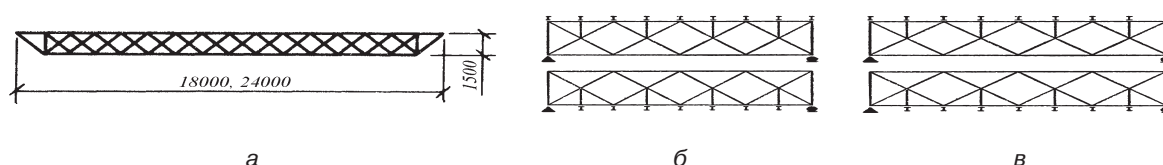




**Рис. 3.** Снимки ферм покрытия с параллельными поясами и  $\Psi$ -образными стойками в треугольных решетках на объекте в одной из станций Ставропольского края: а – в диагональном направлении; б – в ортогональном направлении



**Рис. 4.** Снимки ферменных конструкций с перекрестными решетками Эйфелевой башни, 1889 г. (а) и железнодорожного моста в Кисловодске, 1894 г. (б)



**Рис. 5.** Схемы перекрестных решеток в балочной конструкции (а), в ферменной конструкции с полустойками и ездой по верху (б), в ферменной конструкции с полуподвесками и ездой по низу (в)

ферме пониженной высоты, принимаемую за решетчатую балку или такой же прогон (рис. 5, а) [26]. Узлы пересечений делят каждый из раскосов, как правило, пополам, что вдвое сокращает расчетную длину сжатых стержней решетки, однако не уменьшает протяженности стержневых элементов сжатых и сжато-изгибаемых поясов.

В качестве прототипа (наиболее близкое техническое решение) к предлагаемой перекрестной решетке с  $\Upsilon$ -образными и (или)  $\Psi$ -об-

разными полустойками можно принять такую же решетку с I-образными (прямолинейными) полустойками (рис. 5, б) или полуподвесками (рис. 3, в), делящими панели поясов на две части [27].

Завершая вводную часть, остается добавить, что при необходимости дальнейшего укорочения поясных панелей за счет их разделения на три или четыре части с помощью стержневых элементов шпренгельного типа можно заметить, что использование  $\Upsilon$ -образ-

ных и (или)  $\Psi$ -образных полустоек (полуподвесок) менее затратно и более эффективно.

### Компоновка ферм с $Y$ - и $\Psi$ -образными стержнями в перекрестных решетках

Техническим результатом предлагаемого решения является укорочение панелей сжатых или сжато-изгибаемых (верхних) поясов, унификация их сечений с сечениями растянутых (нижних) поясов, а также сокращение трудозатрат и расхода конструкционного материала. Этот результат достигается тем, что в перекрестной решетке стержневых конструкций из верхнего (сжатого или сжато-изгибаемого) и нижнего (растянутого) поясов, полураскосов, опорных стоек и полустоек (рис. 6, а), полустойки I-образной формы заменены полустойками Y-образной (рис. 6, б) или  $\Psi$ -образной (рис. 6, в) формы [28]. Верхние элементы полустоек одним концом соединены с верхним поясом, а другим концом оперты на нижние элементы тех же полустоек. Верхние узловые соединения верхних элементов делят панели верхнего пояса на составные части, а нижние узловые соединения нижних элементов совмещены с узловыми соединениями полураскосов решетки.

Предлагаемое техническое решение можно признать достаточно универсальным для того, чтобы использовать в ферменных конструкциях различные комбинации I-, Y-,  $\Psi$ -об-

разных полустоек их решеток (рис. 6, з). К тому же универсальность предлагаемого технического решения проявляется тем, что полустойки I-образной, Y-образной,  $\Psi$ -образной формы обладают двойным функциональным назначением. Работая на местные нагрузки, они не участвуют в передачах на опоры поперечных сил. Вместе с тем, как связевые элементы, они уменьшают расчетные длины сжатых поясов. При этом вполне достижима унификация сечений сжатых (верхних) и растянутых (нижних) поясов, что, как правило, сопровождается сокращением трудозатрат и расхода конструкционного материала. Кроме того, предлагаемое техническое решение не менее универсально в ферменных конструкциях, где грузовыми являются их нижние (растянутые) пояса (рис. 7).

### Реализация перекрестных решеток с I-, Y- и $\Psi$ -образными полустойками в типовых фермах

Для примера реализации предлагаемого (нового) технического решения целесообразно использовать базовый объект в виде серийной (типовой) фермы ФС30-6,35 с перекрестной решеткой, пролетом 30 м, массой 6130 кг и расчетной нагрузкой 63,5 кН/м (6,50 тс/м), как наиболее грузоподъемной и большепролетной (рис. 8, а) [29, с.58].

Прочность растянутого (нижнего) пояса будет обеспечена при условии:

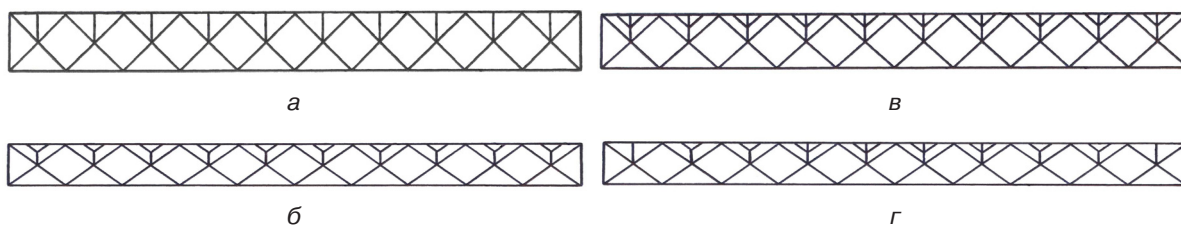


Рис. 6. Схемы перекрестных решеток ферм с грузовыми верхними поясами и полустойками: а – I-образными; б – Y-образными; в –  $\Psi$ -образными; г – I-, Y- и  $\Psi$ -образными

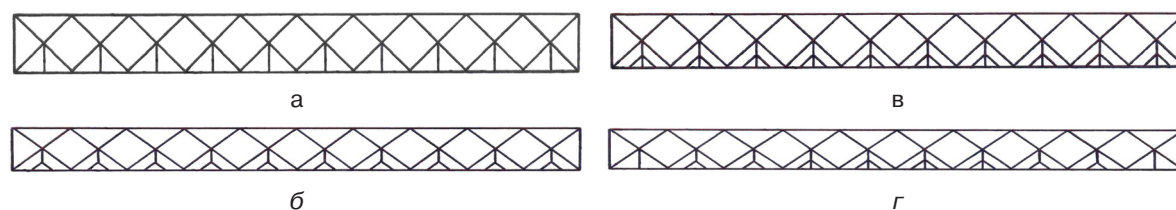
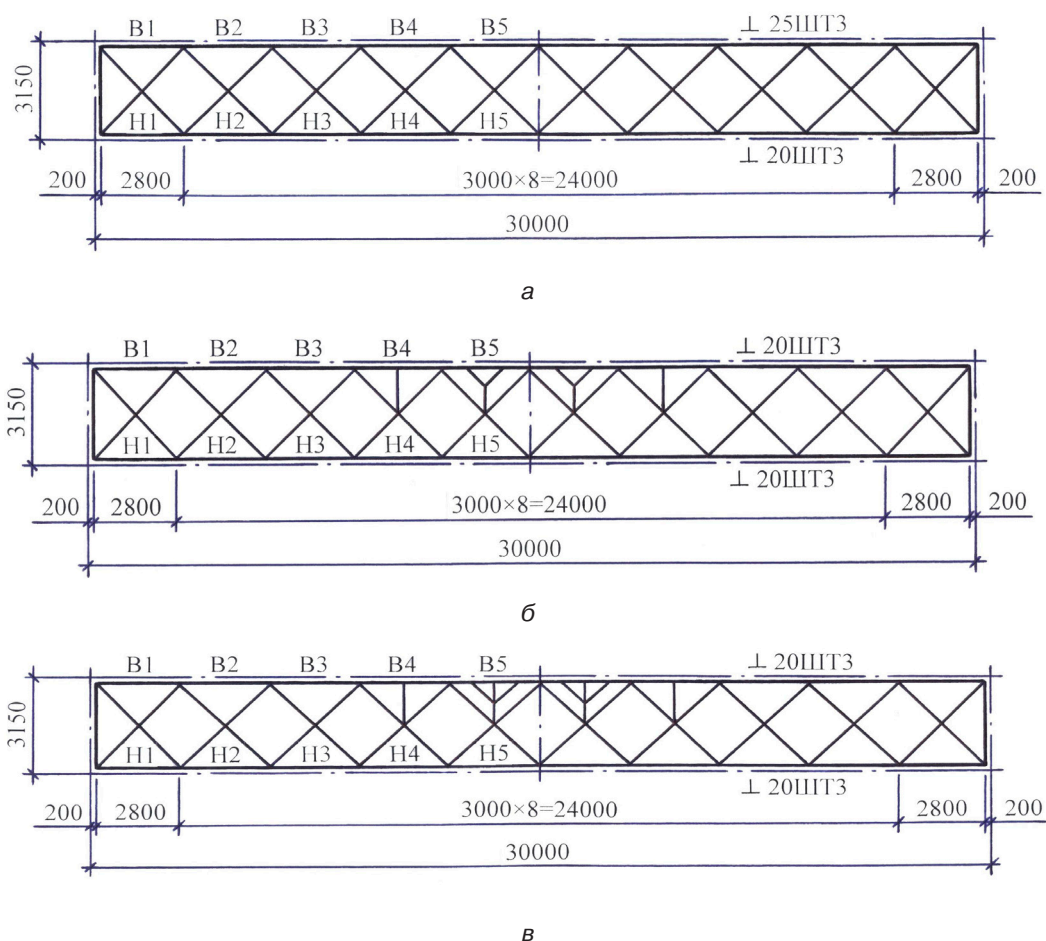


Рис. 7. Схемы перекрестных решеток ферм с грузовыми нижними поясами и полуподвесками: а – I-образными; б – Y-образными; в –  $\Psi$ -образными; г – I-, Y- и  $\Psi$ -образными



**Рис. 8.** Схемы перекрестных решеток ферменных конструкций без полустоек (а), с I- и Y-образными полустойками (б), с I- и Ψ-образными полустойками (в)

$$\sigma / R_y = N / (AR_y) \leq \gamma_n = 0,95, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – расчетное значение нормального напряжения при растяжении;

$R_y$  – расчетное сопротивление конструкционного материала по пределу текучести;

$N$  – расчетное усилие растяжения;

$\gamma_n = 0,95$  – коэффициент надежности по назначению [29, с. 12].

Устойчивость сжатого (верхнего) пояса будет обеспечена при условии:

$$\sigma / R_y = N / (\varphi AR_y) \leq \gamma_n = 0,95, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – расчетное значение нормального напряжения при сжатии;

$R_y$  – расчетное сопротивление конструкционного материала по пределу текучести;

$N$  – расчетное усилие сжатия;

$\varphi$  – коэффициент продольного изгиба,

$$\varphi = 1 - 0,066(\bar{\lambda})^{3/2} \text{ при } 0 < \bar{\lambda} \leq 2,5; \quad (3)$$

$$\varphi = 1,46 - 0,34\bar{\lambda} + 0,021(\bar{\lambda})^2 \text{ при } 2,5 < \bar{\lambda} \leq 4,5; \quad (4)$$

$\lambda$  – условная гибкость сжатого элемента [30],

$$\bar{\lambda} = \lambda(R_y / E)^{1/2}; \quad (5)$$

$\lambda$  – расчетная гибкость сжатого элемента,

$$\lambda = l_{ef} / i; \quad (6)$$

$l_{ef}$  – расчетная длина сжатого элемента;

$i$  – радиус инерции расчетного сечения;

$E$  – модуль упругости конструкционного материала, для стали  $E = 2100000$  кгс/см<sup>2</sup>.

Для нижнего (растянутого) пояса базового объекта принято сечение из широкополочного тавра 20ШТЗ ( $A = 78,14$ ; см<sup>2</sup>;  $t = 18$  мм;  $i_x = 5,15$  см;  $i_y = 7,20$  см;  $m = 61,30$  кг/м):

$$\sigma / R_y = 234000 / (78,14 \times 3500) = 0,856 < 0,95,$$

где  $N = 234,0$  тс – расчетное усилие в панели Н5 нижнего пояса фермы ФС30-6,35;

$R_y$  – расчетное сопротивление конструкционного материала, для стали марки 14Г2-6-1 при толщине  $t = 11...20$  мм  $R_y = 3500$  кгс/см<sup>2</sup> [27, с. 16].

Для верхнего (сжатого) пояса базового объекта принят широкополочный тавр 250ШТЗ ( $A = 99,04$  см<sup>2</sup>;  $t = 20,5$  мм;  $i_x = 6,95$  см;  $i_y = 6,83$  см;  $m = 77,70$  кг/м):

$$\sigma / R_y = 224000 / (0,852 \times 99,04 \times 3200) = 0,830 < 0,95,$$

где  $N = -224,0$  тс – расчетное усилие в панели В5 верхнего пояса фермы ФС30-6,35;

$R_y$  – расчетное сопротивление конструкционного материала, для стали марки 14Г2-6-2 при толщине  $t = 11...20$  мм  $R_y = 3200$  кгс/см<sup>2</sup> [29, с. 16];

$$\lambda_x = 300 / 6,95 = 43,17; \lambda_y = 300 / 6,83 = 43,92; \\ \bar{\lambda} = 43,92 (3200 / 2100000)^{1/2} = 1,714; \\ \varphi = 1 - 0,066 \times 1,714^{3/2} = 0,852.$$

Следующим этапом выполняемой реализации предлагаемого технического решения является замена верхнего (сжатого) пояса базового объекта из широкополочного тавра 25ШТЗ на такой же пояс из профиля 20ШТЗ, принятого для нижнего пояса, за счет включения в перекрестную решетку полустоек I-образной формы (рис. 7, б), делящих панели В5 сжатого пояса на две части ( $300/2 = 150$  см):

$$\sigma / R_y = 224000 / (0,914 \times 78,14 \times 3500) = 0,896 < 0,95,$$

$$\text{где } \lambda_x = 150 / 5,15 = 29,13; \lambda_y = 150 / 7,20 = 20,83; \\ \bar{\lambda} = 29,13 (3500 / 2100000)^{1/2} = 1,189; \\ \varphi = 1 - 0,066 \times 1,189^{3/2} = 0,914.$$

Очевидно, что  $0,856 < \sigma / R_y = 0,896 < 0,95$ , то есть ресурсы несущей способности одного и того же профиля при сжатии в верхнем поясе уменьшились по сравнению с растяжением в нижнем поясе.

Если включить в перекрестную решетку Y-образные полустойки (рис. 7, б), делящие панели В5 сжатого пояса на три части ( $300/3 = 100$  см), то можно повторить расчет широкополочного тавра 20ШТЗ с учетом его усиления:

$$\sigma / R_y = 224000 / (0,953 \times 78,14 \times 3500) = 0,859 < 0,95,$$

$$\text{где } \lambda_x = 100 / 5,15 = 19,42; \lambda_y = 100 / 7,20 = 13,89; \\ \bar{\lambda} = 19,42 (3500 / 2100000)^{1/2} = 0,793; \\ \varphi = 1 - 0,066 \times 0,793^{3/2} = 0,953.$$

Как видно, в этом случае ресурсы несущей способности практически совпали

$$0,856 < \sigma / R_y = 0,859 < 0,95, \\ 100(0,859 - 0,856) / (0,859...0,856) = 0,349...0,350\%.$$

Практический интерес представляет усиление панели В5 сжатого пояса при его делении на четыре части ( $300/4 = 75$  см) за счет включения в перекрестную решетку Ψ-образных полустоек (рис. 7, в):

$$\sigma / R_y = 224000 / (0,970 \times 78,14 \times 3500) = 0,844 < 0,95,$$

$$\text{где } \lambda_x = 75 / 5,15 = 14,56; \lambda_y = 75 / 7,20 = 10,42; \\ \bar{\lambda} = 14,56 (3500 / 2100000)^{1/2} = 0,594; \\ \varphi = 1 - 0,066 \times 0,594^{3/2} = 0,970.$$

Использование Ψ-образных полустоек для усиления верхнего пояса увеличило ресурсы его несущей способности по сравнению с нижним поясом на  $100(0,856 - 0,844) / (0,856...0,844) = 1,40...1,42\%$ .

Далее необходимо проверить 3-метровую панель верхнего пояса базового объекта В4 ( $N = -205,0$  тс):

$$\sigma / R_y = 205000 / (0,758 \times 78,14 \times 3500) = 0,989 > 0,95,$$

$$\text{где } \lambda_x = 300 / 5,15 = 58,25; \lambda_y = 300 / 7,20 = 41,67; \\ \bar{\lambda} = 58,25 (3500 / 2100000)^{1/2} = 2,378; \\ \varphi = 1 - 0,066 \times 2,378^{3/2} = 0,758.$$

Панели В4 сжатого пояса необходимо усилить, разделив их на две части ( $300/2 = 150$  см) при помощи I-образных полустоек (рис. 7, б, в) и проверить расчетом еще раз:

$$\sigma / R_y = 205000 / (0,914 \times 78,14 \times 3500) = 0,820 < 0,856.$$

Далее аналогичным образом необходимо проверить 3-метровую панель верхнего пояса базового объекта В3 ( $N = -175,0$  тс):

$$\sigma / R_y = 175000 / (0,914 \times 78,14 \times 3500) = 0,844 < 0,856.$$

Приведенный расчет показывает, что включение в панели В4 I-образных полустоек и такое же включение в панели В5 Y-образных (рис. 7, б) или Ψ-образных полустоек (рис. 7, в) приводит к унификации верхнего пояса с нижним и сокращению расхода конструкционного материала на верхний (сжатый) пояс в  $77,70 / 61,30 = 1,27$  раза.

Чтобы оценить влияние приведенной унификации поясов на массу базового объекта (фермы ФС30-6,35), необходимо подобрать

Основные результаты оптимизации ферменных конструкций с двойными системами полураскосов

Ферменная конструкция			Массы стержней, кг			
Схема	$h/l$	$q$	$m_1 = m_2 + m_3$	$m_2$	$m_3$	$m_2/m_3$
	1/5	6,67	6991 (100%)	3842	3149	1,220
			6762 (96,72%)	3383	3379	1,001
			6793 (97,17%)	3321	3472	0,957
			6901 (98,68%)	3258	3643	0,894
	1/5	6,67	6499 (100%)	3807	2692	1,414
			6306 (97,03%)	3532	2774	1,273
			6352 (97,74%)	3501	2851	1,228
	1/9,5	6,50	6130 (100%)	4215	1915	2,201
			5745 (93,72%)	3702	2043	1,812
			5779 (94,27%)	3702	2077	1,782

Примечания:  $h/l$  – относительная высота фермы;  
 $q$  – расчетная нагрузка на ферменную конструкцию, кгс/м;  
 $m_1$  – масса стержней фермы;  
 $m_2$  – масса стержней поясов;  
 $m_3$  – масса стержней решетки.

сечения I-образных, Y-образных и Ψ-образных полустоек.

Если расчетная нагрузка на ферму ФС30-6,35 равна 6,5 тс/м, то расчетное усилие в I-образной полустойке составит  $N = -6,5 \times 1,5 = -9,75$  тс, тогда из сортамента стержней перекрестной решетки рассматриваемой фермы целесообразно выбрать сжатый раскос с поперечным сечением из 110×110×8 мм с расчетным усилием  $N = -18,1$  тс, длиной в осях  $(3150^2 + 3000^2)^{1/2} = 4350$  мм и линейной (погонной) массой  $m = 13,5$  кг/м.

Массы стержневых элементов фермы ФС30-6,35 и ее модификаций составляют:

$78,2 \times 30 = 2346$  кг – верхний пояс (широкополочный тавр 25ШТЗ);

$61,7 \times 30 = 1851$  кг – нижний пояс (широкополочный тавр 20ШТЗ);

$13,5 \times 3,150/2 = 21,3$  кг – I-образная полустойка (уголок 110×100×8 мм);

$13,5(3,150/3 + 2 \times 4,350/6) = 33,8$  кг – Y-образная полустойка (уголок 110×110×8 мм);

$13,5(3,150/2 + 2 \times 4,350/4) = 50,6$  кг – Ψ-образная полустойка (уголок 110×110×8 мм);

Массы модификаций (ферм) с перекрестной решеткой и полустойками составляют:

$6130 - 2346 + 1851 + 2(21,3 + 33,8) = 5745$  кг – I-образными и Y-образными (рис. 7, б);

$6130-2346+1851+2(21,3+50,6)=5779$  кг – I-образными и  $\Psi$ -образными (рис. 7, в), где 6130 кг – масса фермы ФС30-6,35.

Использование предлагаемого (нового) технического решения обеспечило уменьшение массы стрелевой конструкции (фермы) с перекрестной решеткой и полустойками:

$100(6130-5745)/(6130...5745)=6,3...6,7\%$  кг – Y-образными (рис. 7, б);

$100(6130-5779)/(6130...5779)=5,7...6,1\%$  кг –  $\Psi$ -образными (рис. 7, в).

Таким образом, металлоемкость верхнего пояса сократилась в 1,27 раза, а общая масса стержневой конструкции уменьшилась на 5,7...6,7%, при этом имеет место унификация обоих поясов.

### Заключение

Основные итоги оптимизации ферменных конструкций с перекрестными решетками и полустойками I-образной, Y-образной,  $\Psi$ -образной формы более наглядны при сравнении в табличном виде с аналогичными результа-








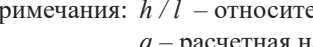
тами расчетных выкладок применительно к ферменным конструкциям с полураскосными [22] и ромбическими [23] решетками, где за эталонные (100-процентные) показатели приняты характеристики ферменных конструкций с решетками без стержней Y-образных и  $\Psi$ -образных очертаний (табл. 1).

Выше уже отмечалось, что формообразование перекрестных, ромбических и полураскосных решеток базируется на двух системах раскосов или двойной системе полураскосов. Поэтому основные результаты их оптимизации с использованием стержневых элементов решетки I-образных, Y-образных и  $\Psi$ -образных очертаний интересно сопоставить с аналогичными итогами, полученными для решеток ферменных конструкций с одинарной системой раскосов, коими являются треугольные [20] и раскосные [21] решетки (табл. 2).

Из сравнительного анализа можно заключить, что предлагаемые решения вариантных и оптимизационных задач ферменных конструк-

Таблица 2

Основные результаты оптимизации ферменных конструкций с одинарными системами раскосов

Ферменная конструкция			Массы стержней, кг			
Схема	$h/l$	$q$	$m_1 = m_2 + m_3$	$m_2$	$m_3$	$m_2/m_3$
	1/10	1,28	866,1 (100%)	664,3	201,8	3,291
			801,7(92,56%)	547,9	253,8	2,159
			744,7 (85,98%)	472,7	272,0	1,738
			779,8 (90,04%)	472,7	307,1	1,539
	1/10	1,28	715,4 (100%)	516,6	198,9	2,597
			721,2 (100,8%)	441,4	279,8	1,578
			700,2 (97,88%)	418,0	282,2	1,481
			715,2 (99,97%)	391,0	324,2	1,206

Примечания:  $h/l$  – относительная высота фермы;

$q$  – расчетная нагрузка на ферменную конструкцию, кгс/м;

$m_1$  – масса стержней фермы;

$m_2$  – масса стержней поясов;

$m_3$  – масса стержней решетки.

ций с использованием I-образных, Y-образных перспективного применения в составе несущих и связевых систем различных зданий и сооружений. Достаточно эффективны и рациональны для

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Евсеев А.Е.* История развития расчетов плоских металлических ферм // Моделирование и механика конструкций. 2019. №10. С. 43-52.
2. *Юрьев А.Г., Зинькова В.А.* Эволюция проектировочных расчетов ферм // Сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2019. С. 111-114.
3. *Кирсанов М.Н.* Плоские фермы. Схемы и расчетные формулы // Справочник. М.: ИНФНА-М, 2019. 238 с.
4. *Туснин А.Р., Бергер М.П.* Испытания плоских ферм с повреждениями // Промышленное и гражданское строительство. 2019. №10. С. 12-19.
5. *Марутян А.С., Аичян Т.А.* Сейсмостойкое строительство из легких металлоконструкций с учетом инженерных геофизических и геологических изысканий // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. №5. С. 95-100.
6. *Абовян А.Г., Абовян Г.А.* О возможности создания сложной динамической нагрузки сейсмического типа при одновременном действии систем вибрационных машин // Бюллетень строительной техники. 2018. №3. С. 36-37.
7. *Абовян А.Г., Марутян А.С., Абовян Г.А.* Анализ напряженного состояния стального каркаса при колебаниях в одном и двух взаимно перпендикулярных направлениях // Бюллетень строительной техники. 2020. №12. С. 50-51.
8. *Марутян А.С., Абовян А.Г.* Прогибы и периоды собственных колебаний систем перекрестных ферм из парных уголков и трубчатых профилей при различных схемах опирания // Бюллетень строительной техники. 2021. №5. С. 46-51.
9. *Юрьев А.Г., Зинькова В.А.* Оптимизация нагружения металлических ферм // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. №2. С. 56-61.
10. *Алексейцев А.В.* Эволюционная оптимизация стальных ферм с учетом узловых соединений // Инженерно-строительный журнал. 2013. №5. С. 28-37.
11. *Сертик И.Н., Комшин Б.Е.* Топологическая и параметрическая оптимизация большепролетных стальных ферм // Материалы II Брянского международного инновационного форума «Строительство-2016». Брянск: БГИТУ, 2016. Т. 1. С. 315-320.
12. *Валиуллин Д.А., Чижов С.В.* Анализ методов определения напряженно-деформированного состояния решетчатых ферм с жесткими соединениями в узлах // Вестник гражданских инженеров. 2019. №4. С. 38-43.
13. *Zinkova V.A.* Optimization of the structure of flat metal tube trusses // Lector Notes in Civil Engineering. 2020. V. 95. P. 213-218.
14. *Сертик И.Н., Алексейцев А.В., Балабин П.Ю., Курченко Н.С.* Плоские стержневые системы: оптимизация с контролем общей устойчивости // Инженерно-строительный журнал. 2017. №8. С. 181-192.
15. *Соловьева А.А., Соловьев С.А.* Метод оценки надежности элементов плоских ферм на основе р-блоков // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 2. С. 153-167.
16. *Мельников Н.П., Павлов Б.Г., Кармилов С.С., Туллер М.Я., Беляев В.Ф., Бахмутский В.М., Артемов Д.П.* Металлическая ферма // Авторское свидетельство №703637, 15.12.1979, бюл. №46.
17. *Козачкова А.Н.* Металлическая ферма // Авторское свидетельство №1214881, 28.02.1986, бюл. №8.
18. *Марутян А.С.* Оптимизация ферменных конструкций с поясами ступенчато-переменных сесений из прямоугольных труб // Строительная механика и расчет сооружений. 2021. №2. С. 53-61.

19. Барановский М.Ю., Тарасов В.А. Стандартизированные ферменные конструкции с уклоном 10% пролетами 24, 30, 36 метров // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №7. С. 92-106.
20. Марутян А.С. Оптимизация ферменных конструкций со стойками и полураскосами в треугольных решетках // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. № 4. С. 60-68.
21. Марутян А.С. Оптимизация ферменных конструкций с раскосными решетками // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2019. №1. С. 67-79.
22. Марутян А.С. Оптимизация ферменных конструкций с полураскосными решетками // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2020. №3. С. 39-50.
23. Марутян А.С. Оптимизация ферменных конструкций с ромбическими решетками // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2021. №1. С. 54-65.
24. Kirsanov M.N. Analytical calculation of deflection of a planar truss with a triple lattice // Magazine of Civil Engineering. 2021. 102(2). Article №10211.
25. Перельмутер А.В. Очерки по истории металлических конструкций // М.: Издательство СКАД Софт, Издательский дом АСВ, 2015. С. 43-118.
26. Проектирование металлических конструкций: Спец. курс / В.В. Бирюлев, И.И. Кошин, И.И. Крылов, А.В. Сильвестров. Л.: Стройиздат, 1990. С. 85-88.
27. Патон Е.О., Горбунов Б.Н. Стальные мосты. Т. 1. Фермы балочной системы: материал и заклепки // Харьков – Киев: ОНТИ НКТП НТИУ, 1935. С. 364.
28. Марутян А.С. Перекрестная решетка стержневых конструкций с Y-образными или Ψ-образными полустойками // Патент №199331, 28.08.2021, бюл. №25.
29. Стальные конструкции покрытий одноэтажных производственных зданий с применением ферм с поясами из широкополочных тавров с перекрестной решеткой из одиночных уголков: Типовой проект. Серия 1.460.3-18. Выпуск 1. Чертежи КМ. М.: ЦНИИ проектсталь конструкция им. Н.П. Мельника, 1983. 116 с.
30. Пособие по проектированию стальных конструкций. М.: ЦИТП, 1989. С. 17.

## OPTIMIZATION OF TRUSS STRUCTURES OF THE STANDART SERIES WITH CROSS GRIDS

© A.S. Marutyan

Branch of NCFU, Pyatigorsk, Russia

The structural and layout solution of rods of Y-shaped and Ψ-shaped outlines in trusses with a cross lattice or trusses with a cross lattice and half-posts (half-suspensions) is presented, the technical novelty of which is confirmed by the results of patent examination. The versatility of this truss solution is as effective as it is for load tops, load bottoms, or load tops and bottoms of the same grid. The degree of unification of a typical truss of rolled sections has been increased due to the use of design sections in the upper belt adopted for the lower belt. At the same time, the resources of the bearing capacity differ between them by no more than one and a half percent, which ensures the necessary and sufficient equal strength of both belts for their more rational unification. A comparative analysis of the main results of the solution of the variant and optimal design of truss structures as applied to gratings with double systems of half-braces and gratings with single systems of braces is carried out. The prospect of using a new technical solution in the composition of bearing and communication systems of various buildings and structures has been revealed.

**Keywords:** trusses, lattice structures, bar structures, single brace system, double half-brace system, optimization, variant design.



## REFERENCES

1. Evseev, A.E. (2019) 'Istoriya razvitiya raschetov ploskih metallicheskih ferm'. *Modelirovanie i mekhanika konstrukcij*. [The history of the development of calculations of flat metal trusses // Modeling and structural mechanics]. №10. Pp.43–52.
2. Yurev, A.G. and Zhinkova, V.A. (2019) 'Evolyuciya proektirovochnyh raschetov ferm'. *Sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 65-letiyu BGTU im. V.G. Shuhova*. [Evolution of design calculations of trusses. Proceedings of reports of the international scientific and practical conference dedicated to the 65th anniversary of BSTU named after V.G. Shukhov. Belgorod]. Belgorod. Pp. 111–114.
3. Kirsanov, M.N. (2019) Ploskie fermy. Skhemy i raschetnye formuly. Spravochnik. [Flat farms. Schemes and calculation formulas. Handbook]. INFNA-M, Moscow, 238 p.
4. Tusnin, A.R. and Berger, M.P. (2019) 'Ispytaniya ploskih ferm s povrezhdeniyami'. [Tests of flat trusses with damage. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. №10. Pp. 12–19.
5. Marutyanyan, A.S. and Ashchyan, T.A. (2018) 'Sejzmoustojkoe stroitel'stvo iz legkih metallokonstrukcij s uchetom inzhenernyh geofizicheskikh i geologicheskikh izyskanij'. [Earthquake-resistant construction from light metal structures taking into account engineering geophysical and geological surveys]. *Groznenskiy estestvennonauchnyy byulleten'*. № 5. Pp. 95–100.
6. Abovyan, A.G. and Abovyan, G.A. (2018) 'O vozmozhnosti sozdaniya slozhnoj dinamicheskoy nagruzki sejsmicheskogo tipa pri odnovremennom dejstvii sistem vibracionnyh mashin'. [On the possibility of creating a complex dynamic load of seismic type with the simultaneous action of systems of vibration machines]. *Byulleten' stroitel'noj tekhniki*. № 3. Pp. 36–37.
7. Abovyan, A.G., Marutyanyan, A.S. and Abovyan, G.A. (2020) 'Analiz napryazhennogo sostoyaniya stal'nogo karkasa pri kolebaniyah v odnom i dvuh vzaimno perpendikulyarnykh napravleniyah'. [Analysis of the stress state of a steel frame during vibrations in one and two mutually perpendicular directions]. *Byulleten' stroitel'noj tekhniki*. №12. Pp. 50–51.
8. Marutyanyan, A.S. and Abovyan, A.G. (2021) 'Progiby i periody sobstvennykh kolebaniy sistem perekrestnykh ferm iz parnykh ugotkov i trubchatykh profilej pri razlichnykh skhemah opiraniya'. [Deflections and periods of natural oscillations of systems of cross trusses from paired corners and tubular profiles with different support schemes. Bulletin of construction technology]. *Byulleten' stroitel'noj tekhniki*. №5. Pp. 46-51.
9. Yuryev A.G., Zinkova V.A. (2020) 'Optimizaciya nagruzheniya metallicheskih ferm'. [Optimization of loading of metal trusses. Bulletin of BSTU im. V.G. Shukhov]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*. №2. P. 56–61.
10. Aleksejcev, A.V. (2013) 'Evolucionnaya optimizaciya stal'nykh ferm s uchetom uzlovykh soedinenij'. [Evolutionary optimization of steel trusses taking into account nodal connections. Engineering and construction journal]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. №5. Pp. 28-37.
11. Serpik, I.N. and Komshin, B.E. (2016) 'Topologicheskaya i parametricheskaya optimizaciya bol'sheproletnykh stal'nykh ferm'. *Materialy II Bryanskogo mezhdunarodnogo innovacionnogo foruma «Stroitel'stvo-2016»*. [Topological and parametric optimization of large-span steel trusses. Materials of the II Bryansk International Innovation Forum "Construction-2016"]. BGITU. V.1. Bryansk, Pp. 315-320.
12. Valiullin, D.A. and Chizhov S.V. (2019) 'Analiz metodov opredeleniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya reshetchatykh ferm s zhestkimi soedineniyami v uzlah'. [Analysis of methods for determining the stress-strain state of lattice trusses with rigid connections at the nodes. Bulletin of civil engineers]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. № 4. Pp. 38–43.
13. Zinkova, V.A. (2020) Optimization of the structure of flat metal tube trusses. Lector Notes in Civil Engineering. V. 95. Pp. 213-218.
14. Serpik, I.N., Aleksejcev, A.V., Balabin, P.Yu. and Kurchenko, N.S. (2017) 'Ploskie sterzhnevye sistemy: optimizaciya s kontrolem obshchej ustojchivosti' [Plane rod systems: optimization with control of overall stability. Engineering and construction journal]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2017. № 8. Pp. 181–192.

15. Solovyeva, A.A. and Solovyev, S.A. (2020) 'Metod ocenki nadezhnosti elementov ploskih ferm na osnove r-blokov'. [Method for assessing the reliability of elements of flat trusses based on p-blocks. Herald of MGSU]. *Vestnik MGSU*. V. 16. Vyp. 2. Pp. 153-167.
16. Melnikov N.P., Pavlov, B.G., Karmilov, S.S., Tuller, M.Ya., Belyaev, V.F., Bahmutskij, V.M., and Artemov, D.P. Metallichesкая ferma. Avtorskoe svidetel'stvo №703637. [Metal truss. Inventor's certificate No. 703637], 15.12.1979, byul. №46.
17. Kozachkova, A.N. Metallichesкая ferma. Avtorskoe svidetel'stvo № 1214881 [Metal truss. Inventor's certificate No. 1214881], 28.02.1986, byul. №8.
18. Marutyan, A.S. (2021) 'Optimizaciya fermennyh konstrukcij s poyasami stupenchato-peremennyh sesenij iz pryamougol'nyh trub'. [Optimization of truss structures with belts of step-variable sections from rectangular pipes. Stripping mechanics and calculation of structures]. *Stritel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij*. № 2. Pp. 53–61.
19. Baranovskij, M.Yu. and Tarasov, V.A. (2014) 'Standartizirovannye fermennye konstrukcii s uklonom 10% proletami 24, 30, 36 metrov'. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij*. [Standardized truss structures with a slope of 10%, spans 24, 30, 36 meters // Construction of unique buildings and structures]. № 7. Pp. 92–106.
20. Marutyan, A.S. (2016) Optimizaciya fermennyh konstrukcij so stojkami i poluraskosami v treugol'nyh reshetkah. [Optimization of truss structures with racks and half-slopes in triangular lattices. Structural mechanics and calculation of structures]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij*. №4. Pp. 60-68.
21. Marutyan, A.S. (2019) 'Optimizaciya fermennyh konstrukcij s raskosnymi reshetkami'. [Optimization of truss structures with diagonal grids. Grozny natural science bulletin]. *Groznenskiy estestvennonauchnyj byulleten'*. № 1. Pp. 67–79.
22. Marutyan, A.S. (2020) 'Optimizaciya fermennyh konstrukcij s poluraskosnymi reshetkami'. [Optimization of truss structures with rhombic grids. Herald of GSTOU. Technical sciences]. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. №3. Pp. 39-50.
23. Marutyan, A.S. (2021) 'Optimizaciya fermennyh konstrukcij s rombicheskimi reshetkami'. [Optimization of truss structures with rhombic grids. Herald of GSTOU. Technical sciences]. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. №1. Pp. 54-65.
24. Kirsanov, M.N. (2021) 'Analytical calculation of deflection of a planar truss with a triple lattice'. *Magazine of Civil Engineering*. 102(2). Article No. 10211.
25. Perelmuter, A.V. (2015) Oчерki po istorii metallicheskih konstrukcij. [Essays on the history of metal structures. SKAD Soft Publishing House, ASV Publishing House]. Izdatel'stvo SKAD Soft, Izdatel'skij dom ASV. Moscow, Pp. 43–118.
26. Biryulev, V.V., Koshin, I.I., Krylov I.I. and Silvestrov, A.V. (1990) Proektirovanie metallicheskih konstrukcij. Spec. kurs. [Design of metal structures. Spec. course]. Strojizdat. Leningrad, Pp. 85-88.
27. Paton, E.O. and Gorbunov, B.N. (1935) Stal'nye mosty. V.1. Fermy balochnoj sistemy: material i zaklepki. [Steel bridges. T. 1. Trusses of the beam system: material and rivets]. ONTI NKTP NTIU, Kharkov – Kiev. Pp. 364.
28. Marutyan, A.S. *Perekrestnaya reshetka sterzhnevyyh konstrukcij s Y-obraznymi ili Psi-obraznymi polustojkami*. 28.08.2021. Patent № 199331, byul. № 25.
29. (1983) Stal'nye konstrukcii pokrytij odnoetazhnyh proizvodstvennyh zdaniy s primeneniem ferm s poyasami iz shirokopolochnyh tavrov s perekrestnoj reshetkoj iz odinochnyyh ugol'kov: Tipovoj proekt. [Steel structures of roofs of one-storey industrial buildings using trusses with belts from wide-shelf T-bars with a cross lattice from single corners: Typical design]. Series 1.460.3-18. Issue 1. Drawings of KM. CNII proektstal' konstrukciya im. N.P. Mel'nika, Moscow. 116 p.
30. (1989) Posobie po proektirovaniyu stal'nyh konstrukcij. [Manual for the design of steel structures]. CИTP, P. 17.

## МОКРЫЙ СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЖИДКОГО СТЕКЛА НА КРЕМНЕЗЕМИСТЫХ ДОБАВКАХ

©<sup>1,2</sup>С.-А. Ю. Муртазаев, <sup>1,2</sup>М. Ш. Саламанова, <sup>3</sup>Ю. И. Корянова

<sup>1</sup>ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

<sup>2</sup>КНИИ им. Х. И. Ибрагимова РАН, Грозный, Россия

<sup>3</sup>Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Сравнительный анализ технологий вяжущих веществ показал, что водный раствор натриевых щелочных силикатов обладает высокой вяжущей способностью, способствует образованию прочного цементного камня, хорошо совмещается с компонентами как минерального, так и органического происхождения. В работе приводятся факты перспективности применения в строительстве жидкого натриевого стекла.

Предлагаемая ускоренная методика получения натриевого жидкого стекла мокрым способом с использованием кремнеземистых добавок позволит решить проблемы выбросов углекислоты в атмосферу и расширить сырьевую базу за счет применения некондиционного местного сырья.

**Ключевые слова:** жидкое стекло, вулканический туф, кварцевые пески, едкий натр, тонкодисперсные порошки.

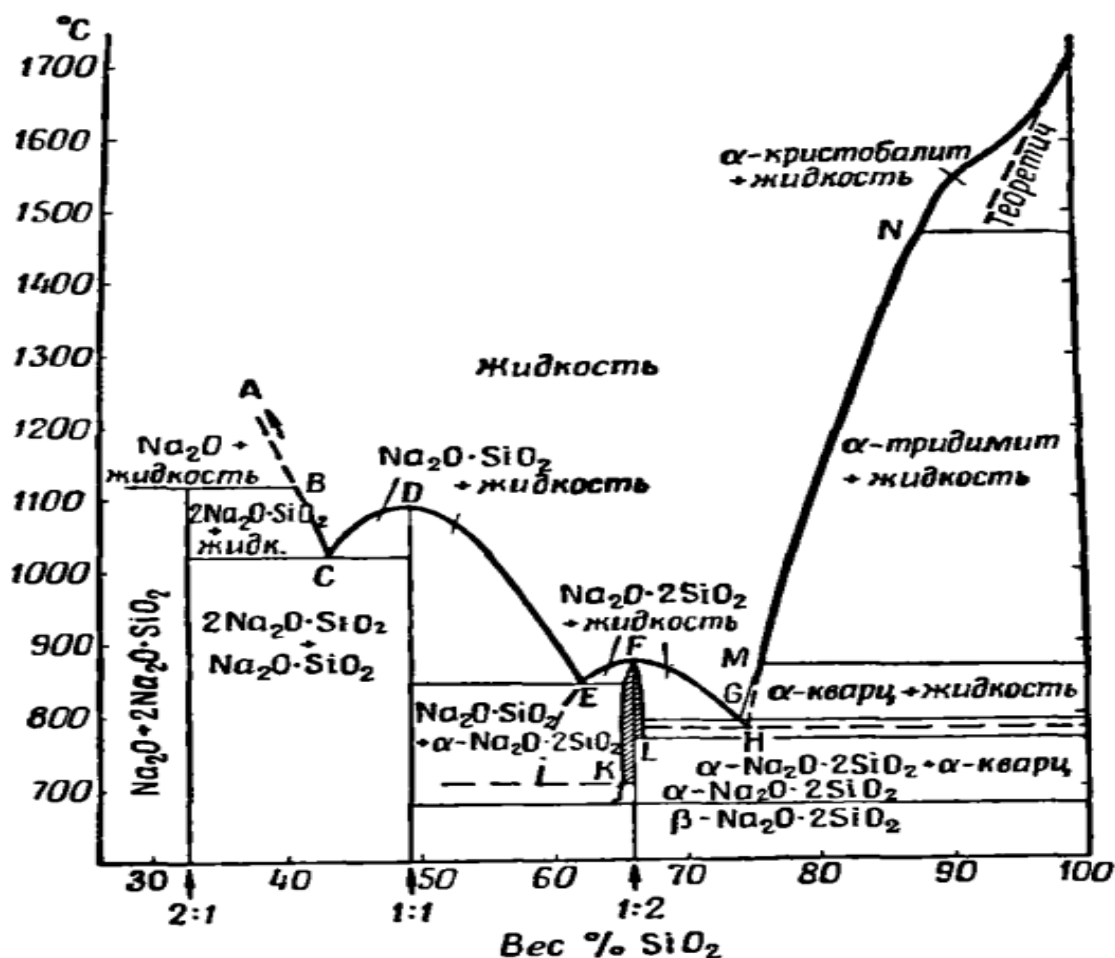
На протяжении многих лет портландцемент считается одним из наиболее востребованных строительных материалов, производственный потенциал которого определяет экономику в регионе, да и в стране в целом. Эффективность и многофункциональность этого вяжущего не требует доказательств и, безусловно, этот продукт вне конкуренции будет на многие годы. Но существуют и негативные последствия карбонатной технологии, наносящие огромный вред экологии в результате загрязнения атмосферы и окружающей среды значительными выбросами углекислого газа и высокодисперсной реакционной пыли и достаточно опасной для человеческого общества и живых существ. Все это в комплексе и наталкивает на мысль о необходимости поиска нового материала, обладающего вяжущими свойствами, но менее энерго- и ресурсоемкого, не требующего высокотемпературной обработки и огромной сырьевой базы.

Интерес остановился на щелочных вяжущих, так как известен практический опыт применения шлакощелочных цементов, который показал, что в былые времена эта технология повсеместно использовалась в Европе и США

в строительных целях и конкурировала с портландцементом. Да и сейчас вяжущие щелочного затворения широко применяются в таких развитых странах, как Япония, Великобритания, Нидерланды, Сингапур и др., и в приоритете производители стремятся ликвидировать последствия производства клинкерного цемента.

Наиболее широко применяют в строительстве жидкое натриевое стекло, и обоснован этот выбор тем, что водный раствор натриевых щелочных силикатов обладает высокой вяжущей способностью, содействует образованию прочного цементного камня, хорошо совмещается с компонентами как минерального, так и органического происхождения, к тому же следует отметить такие свойства, как нетоксичность и негорючесть материала.

Водный раствор натриевого жидкого стекла характеризуется низким силикатным модулем, который изменяется в пределах  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 1-4$ ; более детальные фазовые превращения безводной системы  $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  можно рассмотреть на диаграмме рисунка 1, и происходят они при температурных изменениях и варьировании доли оксида кремния [1].

Рис. 1. Диаграмма состояния системы Na<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> [1]

При фазовых переходах в зависимости от изменения температуры силикат натрия система Na<sub>2</sub>O - SiO<sub>2</sub> может проявляться в трех бинарных соединениях:

- 2Na<sub>2</sub>O·SiO<sub>2</sub> ортосиликат натрия;
- Na<sub>2</sub>O·SiO<sub>2</sub> метасиликат натрия;
- Na<sub>2</sub>O·2SiO<sub>2</sub> дисиликат натрия.

Ортосиликат натрия 2Na<sub>2</sub>O·SiO<sub>2</sub> плавится инконгруэнтно при температуре 1118°C с преобразованием в расплав и твердую фазу различных составов. Метасиликат и дисиликат натрия плавятся конгруэнтно при температурах 1086°C и 874°C соответственно с переходом в расплав и твердую фазу одного состава. Для безводной системы Na<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> можно выделить следующие эвтектические равновесные фазы при 1022°C, 846°C и 793°C. Из приведенных соединений метасиликат натрия можно охарактеризовать как наиболее эффек-

тивный щелочной раствор, позволяющий получать цементный камень высокой водостойкости и прочности.

Из известных методов приготовления этого жидкостекляного связующего сухой способ наиболее распространённый, но производство требует высоких температур (1050°C) для плавления «силикат-глыбы» [2-6]. Но сравнивая эту технологию с технологией портландцемента, следует отметить снижение расхода тепла в 2,1 раза, выбросов углекислоты в атмосферу до 153,9 кг на одну тонну сплава, а с учетом ≈50-55% воды, присутствует уменьшение доли CO<sub>2</sub> до 70-76 кг [7, 8].

Мокрый способ получения натриевого жидкого стекла основан в дисперсии тонкодисперсного диоксида кремния в высококонцентрированном растворе едкого натрия. При этом для получения одной тонны жидкого

стекла необходимо 212 МДж теплоты, или 57 кВт·ч электроэнергии, что в 25,7 раз меньше энергозатрат, чем на производство одной тонны клинкера, и в 13 раз меньше, чем производство одной тонны жидкого стекла сухим методом.

Таким образом, мокрый способ получения жидкостекольного связующего позволит решить и проблему выбросов углекислоты в атмосферу, появится возможность получать щелочной раствор в больших объемах с использованием доступного некондиционного местного сырья [9].

В данной работе приводится методика приготовления раствора натриевого жидкого стекла из местного материала мокрым способом в лабораторных условиях. На подготовительном этапе необходимо приготовить 40% раствор едкого натра плотностью  $1430 \text{ кг/м}^3$  и высокодисперсные порошки с высоким содержанием кремнезема. Тонкодисперсные порошки готовились из горных пород с высоким содержанием кремнезема, кварцевых стекольных песков и вулканического туфа тонким измельчением в течение 1 часа в вибрационной шаровой мельнице. Тонкоизмельченные порошки просеи-

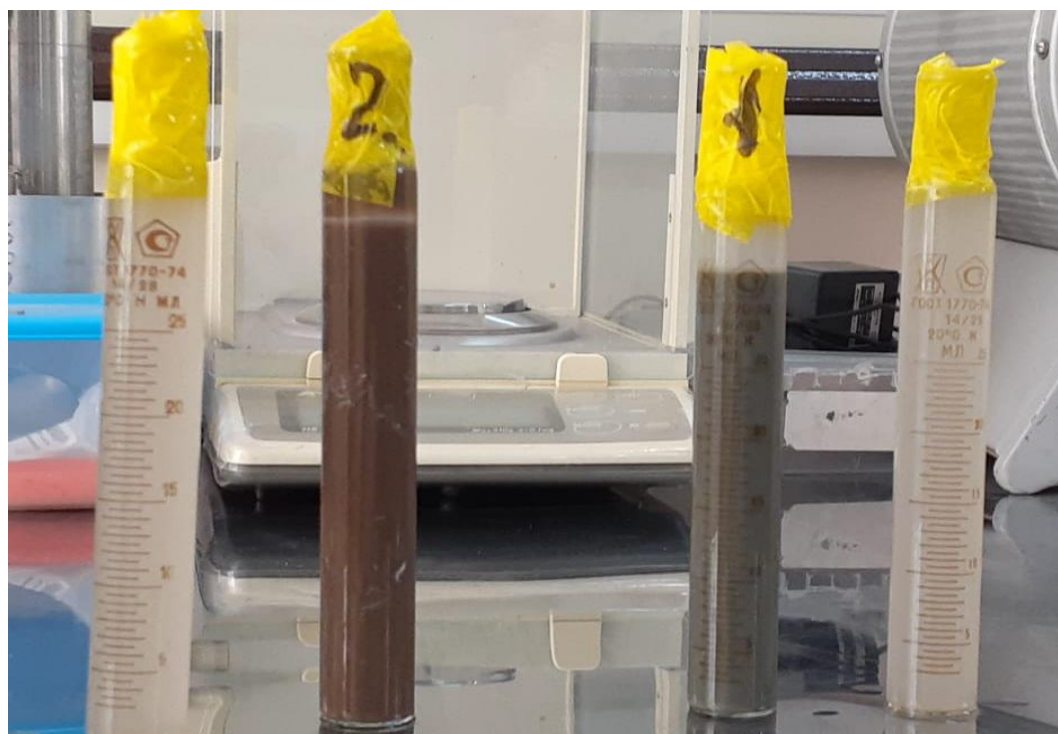
вались через сито размером в свету  $0,315 \text{ мм}$ . Подготовленные таким образом порошки, 40% раствор щелочи и вода смешивались в соответствующих пропорциях и помещались в закрытый сосуд для выдерживания в сушильном шкафу при температуре  $95^\circ\text{C}$  в течение 2,5 часов.

Полученный щелочной раствор в виде суспензии помещали на 5-7 минут в лабораторную центрифугу типа MPW-20 для отделения нерастворимого остатка, число оборотов составляло 5000 в минуту. В результате получали жидкое стекло, суспензию нерастворимого остатка сметанообразной консистенции (рис. 2), нерастворимый густой остаток, который отделяется безвозвратно.

Для приготовления жидкого стекла длительными экспериментальными исследованиями были смоделированы композиции щелочного раствора следующих составов, мас. %:

**Состав 1:**

- 40% раствор NaOH – 26,4;
- порошок из стекольных песков  $S_{\text{уд}} 1166 \text{ м}^2/\text{г}$  – 24,2;
- вода – 49,4.



**Рис. 2.** Щелочной раствор и суспензия из вулканического туфа (справа) и кварцевых песков (слева)

Таблица 1.

## Результаты смешанной части жидкого стекла

№ состава	Минеральная добавка	Концентрация SiO <sub>2</sub> , г/л / модуль в зависимости от времени термообработки, ч			SiO <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O мас. %
		2	8	20	
1	Кварцевый песок	121/1,10	116/1,07	121/1,10	48,0
2	Вулканический туф	87/0,84	88/0,85	88/0,87	35,2

**Состав 2:**

- 40% раствор NaOH – 26,4;
- порошок вулканического туфа
- S<sub>уд</sub> 1325 м<sup>2</sup>/г – 24,2;
- вода – 49,4.

Варьируя продолжительностью теплового воздействия, изучали влияние этого фактора на силикатный модуль и концентрацию кремнезема в щелочном растворе, количество аморфного SiO<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O определяли с помощью растрового электронного микроскопа Quanta 3D 200 i, результаты исследований представлены в таблице 1.

Полученные результаты исследований показали, что по количеству аморфного кремнезема вулканический туф уступает кварцевым стекольным пескам на 35%, силикатный модуль – на 30%. Следовательно, даже при высоком содержании кремнезема в обоих породах, вулканический туф содержит меньше аморфных минералов. Концентрация SiO<sub>2</sub> и силикатный модуль в исследуемых растворах не зависят от продолжительности теплового

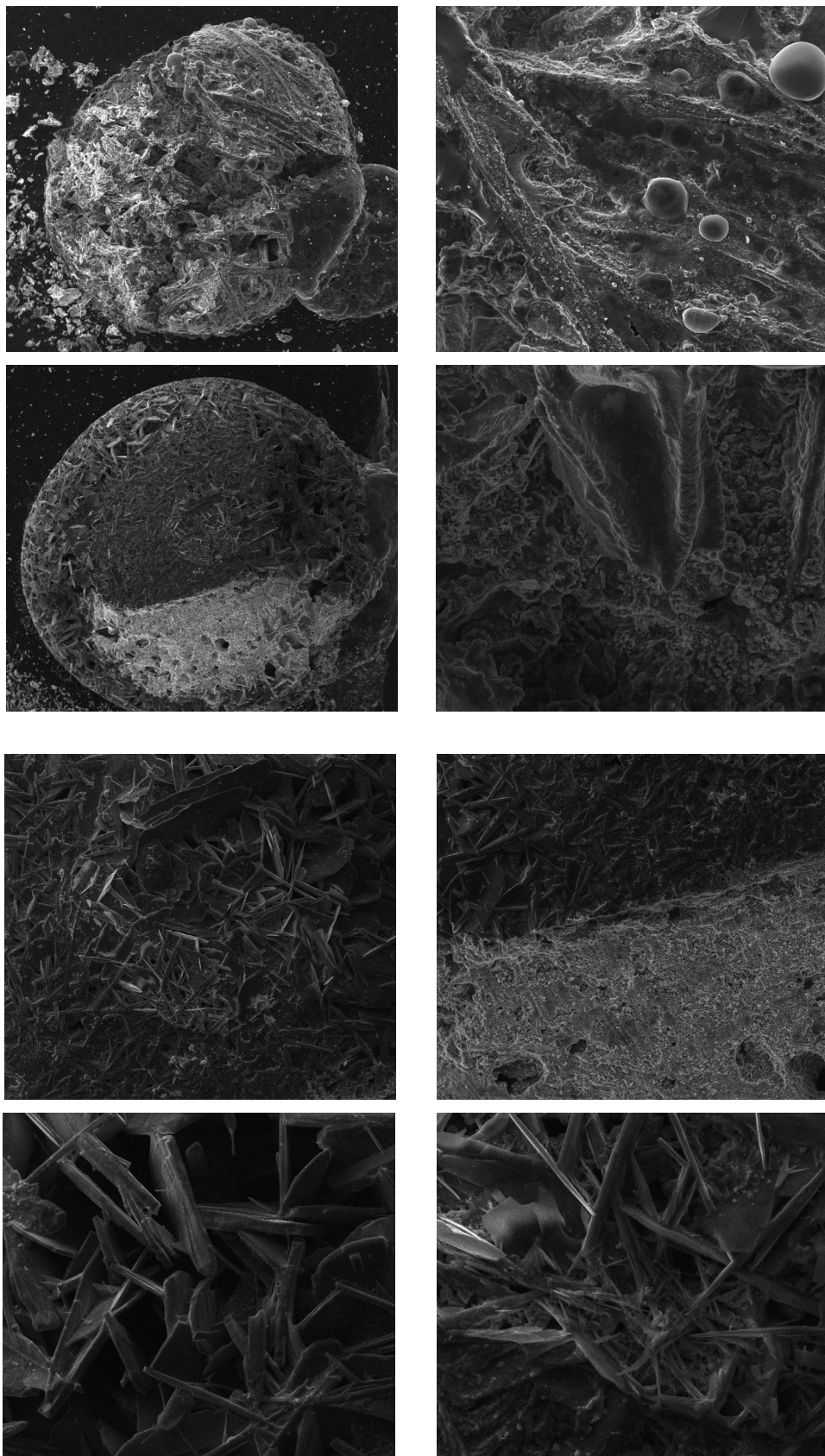
воздействия. Если учитывать погрешность в методике определения этих показателей (±10%), можно полагать, что активный кремнезем вступает в реакцию с едким натром в течение первых двух часов выщелачивания с образованием щелочных силикатов. Добавки вулканического происхождения содержат в своем составе минералы алюмосиликатной природы, типа альбита, микроклина, мусковита, которые так же как и аморфный кремнезем могут вступать в реакцию с катионами щелочных металлов с образованием гидроалюмосиликатов. подобных природному минералу цеолиту [10-15].

Исследования химического анализа показали (табл. 2, рис. 3), что фильтрат и суспензия имеют отличный оксидный набор, фильтрат характеризуется более высокой щелочностью  $n = 0,43$ , суспензия насыщена кремнеземом  $n = 2,6$ , именно смесь этих растворов и позволит достичь нужный силикатный модуль. На микрофотографиях различного увеличения жидкостеклового связующего на основе кварцево-

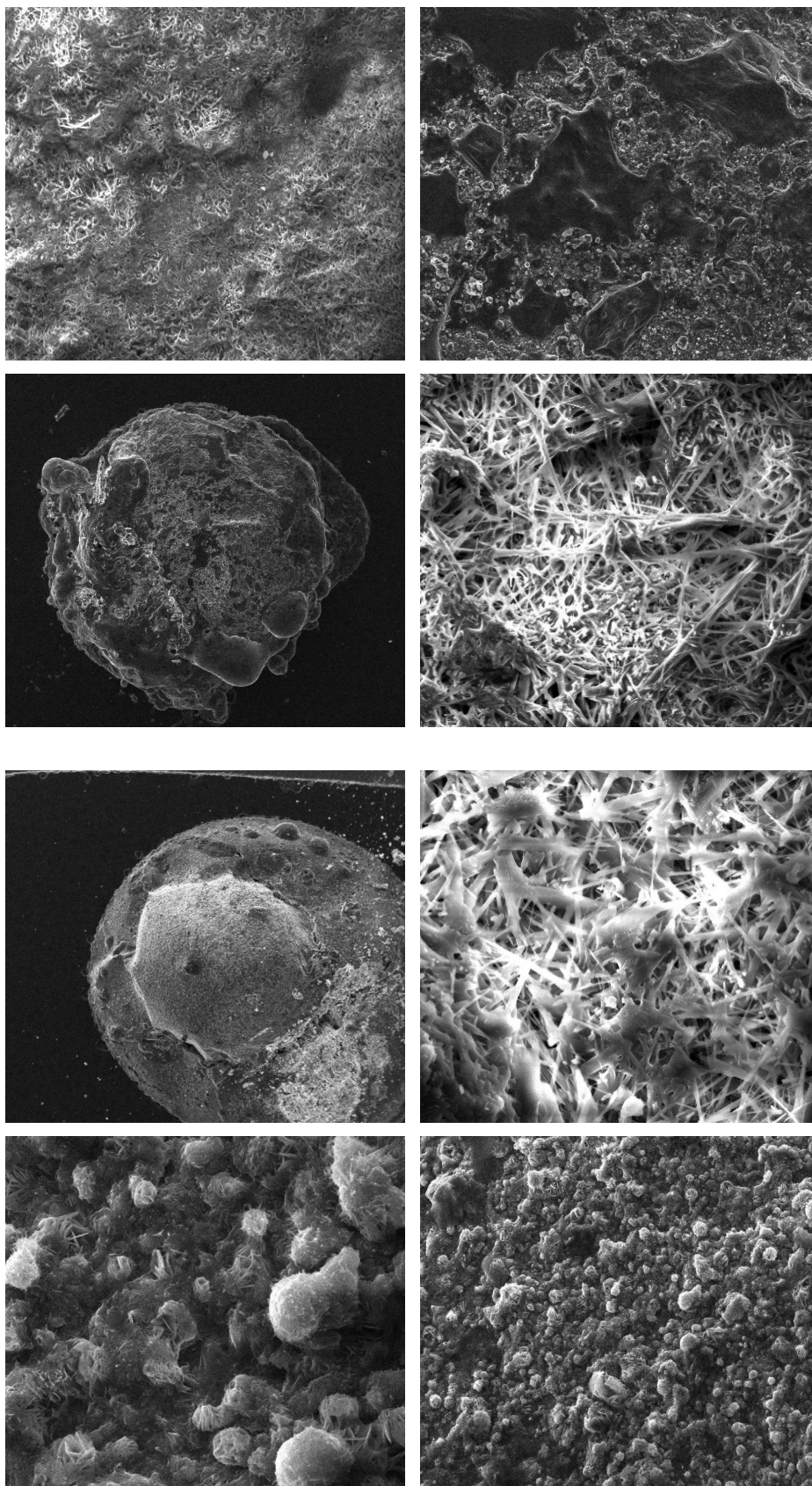
Таблица 2.

## Химический состав щелочного раствора на кварцевых песках, %

Оксиды	Фильтрат	Суспензия
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,88	3,26
SiO <sub>2</sub>	28,95	67,25
K <sub>2</sub> O	1,76	1,22
MgO	0,44	-
Na <sub>2</sub> O	66,97	25,83
CaO	-	0,23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	2,21



**Рис. 3.** Микрографии жидкостекляного связующего на основе кварцевого песка: фильтрат (а), суспензия (б)



**Рис. 4.** Микрографии жидкостеклянного связующего на основе вулканического туфа: фильтрат (а), суспензия (б)



Таблица 3.

## Химический состав щелочного раствора на вулканическом туфе, %

Оксиды	Фильтрат	Суспензия
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,31	3,63
SiO <sub>2</sub>	39,58	42,14
K <sub>2</sub> O	4,23	2,36
CaO	-	1,99
Na <sub>2</sub> O	51,88	49,88

го песка: фильтрат (а), суспензия (б) зафиксированы скопления высокодисперсных бесформенных микрочастиц, местами пластинчатых кристаллических образований и игольчатых вкраплений по результатам электронно-зондового анализа соответствующие натриевому гидросиликату состава Na<sub>2</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>]·4H<sub>2</sub>O.

На микрофотографиях различного увеличения жидкостекольного связующего на основе вулканического туфа (табл. 3, рис. 4): фильтрат (а), суспензия (б) зафиксированы высокодисперсные кристаллические образования в виде скрученных волокон, переплетенных по всей структуре.

Внешняя форма образований видоизменяется в зависимости от SiO<sub>2</sub>/CaO/ Na<sub>2</sub>O, так, игольчатая структура характерна для составов CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·0,59SiO<sub>2</sub>·0,012Na<sub>2</sub>O·aq, пластинчатая структура – для составов CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·1,02SiO<sub>2</sub>·0,03Na<sub>2</sub>O·aq, скручивание пластин в волокна – CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·1,805SiO<sub>2</sub>·0,378Na<sub>2</sub>O·aq, CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2,02SiO<sub>2</sub>·0,45Na<sub>2</sub>O·aq, и

при переходе волокон в частицы неправильной формы – CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2,46SiO<sub>2</sub>·0,54Na<sub>2</sub>O·aq.

Таким образом, в процессе получения щелочных растворов мокрым способом алюмосиликатные соединения нерастворимого осадка способны перестраиваться, образуя гидрат нефелина и метастабильные соединения алюмосиликатного состава. Кремнезем, содержащийся в избытке в системе и переходящий в раствор при выщелачивании, также способен синтезировать новообразования, связывающие свободную щелочь, повышая тем самым прочность строительных композитов щелочного затворения.

Таким образом, мелкие стекольные некондиционные пески являются перспективным и доступным сырьем для получения менее затратного затворителя, в составе которого формируются цеолитовые фазы, являющиеся затравками в процессе структурообразования бетонов на бесклинкерных вяжущих щелочного затворения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kracek F.C. The System Sodium Oxide-Silica. // The Journal of Physical Chemistry. 1930. №34. P. 1583-1598.
2. Bazhenov Yu. N., Murtazaev S-A. Yu., Salamanova M. Sh., Saidumov M. S. High-Performance SCC-Concrete at Earthquake Resistant Construction (Высококачественные СУБ-бетоны для сейсмостойкого строительства) // INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL & SCIENCE EDUCATION 2016, VOL. 11, NO. 18, 12779-12786 Article Number: ijese. 2016.950 Published Online: September 28, 2016 Article Views: 3 | Article Download: 6. URL <https://www.atlantis-press.com/proceedings/isees-19/125914231>
3. Korolev E. V. Filled Binder for the Water-Glass Based Radiation-Protective Composites / E. V. Korolev, A. N. Grishina // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 746. P. 281-284.
4. Тойб М. Механизмы неорганических реакций / М. Тойб. М.: Мир, 1975. 275 с.
5. Корнеев В. И. Растворимое и жидкое стекло / В. И. Корнеев, В. В. Данилов. СПб: Стройиздат, 1996. 216 с.

6. *Andersson K. R.* Polymerization and Colloid Formation in Silicate Solutions / K. R. Andersson, Dent Glasser L. S., D. N. Smith // *Journal of the American Chemical Society*. 1982. Ch. 8. P. 115-131.
7. *Salamanova M. Sh., Ismailova Z. Kh., Bisultanov R. G.* Obtaining sodium silicate solutions for the activation of mineral powders (Получение силикат натриевых растворов для активации минеральных порошков) // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 3rd International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2020). 2020. C. 012057. DOI: 10.1088 / 1757-899X / 905/1/012057
8. *Salamanova M. Sh., Murtazayev S-A. Yu., Alaskhanov A. Kh.* Structural Formation of a Clinkless Cement Binding Alkali Battery with Thermoactivated Margel (Структурообразования бесклинкерного цементного вяжущего щелочного затворения с термоактивированным мергелем) // *Materials Science Forum (Volume 1011)*. P 8-13. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1011.8>
9. *Salamanova M. Sh., Batayev D. K.-S., Uzaeva A. A.* Recipes of Knitting Systems Alkaline Activation Using Natural Raw Materials of the Chechen Republic (Рецептуры вяжущих систем щелочной активации с использованием природного сырья Чеченской Республики) // *Materials Science Forum (Volume 1011)*, P 1-7. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1011.1>
10. *Саламанова М.Ш.* Высококачественные модифицированные бетоны с использованием вяжущего на основе реакционно-активного минерального компонента / *Саламанова М.Ш., Муртазаев С-А. Ю., Бисултанов Р.Г., Муртазаева Т. С-А.* // *Строительные материалы*. 2016. № 8. С. 74-80. (№ 790 Перечня изданий, входящих в международные, реферативные базы данных и системы цитирования (Chemical Abstracts)).
11. *Саламанова М.Ш., Муртазаев С-А. Ю.* Цементы щелочной активации: возможность снижения энергоемкости получения строительных композитов // *Строительные материалы*. 2019. № 7. С. 32-41. (№ 790 Перечня журналов ВАК) Индексируется в Russian Science Citation Index на платформе Web of Science.
12. *Nesvetaev G., Koryanova Y., Zhilnikova T.* On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete // *MATEC Web of Conferences 27*. Сер. «27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFOCE 2018». 2018. C. 04018.
13. *Stelmakh S. A.* Selection of the composition for centrifuged concrete, types of centrifuges and compaction modes of concrete mixtures / *S.A. Stelmakh, M.P. Nazhiev, E.M. Shcherban, A.V. Yanovskaya, A.V. Cherpakov* // *Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA 2018) Abstracts & Schedule*. Edited by Yun-Hae Kim, I.A. Parinov, S.-H. Chang. 2018. C. 337.
14. *Shuisky A., Stelmakh S., Shcherban E., Torlina E.* Recipe-technological aspects of improving the properties of non-autoclaved aerated concrete / *A. Shuisky, S. Stelmakh, E. Shcherban, E. Torlina* // *MATEC Web of Conferences*. Сер. «International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2017». 2017. C. 05011.
15. *Солдатов А.А.* Строительные материалы на основе жидкого стекла / *Солдатов А.А., Сариев И.В., Жаров М.А., Абдураимова М.А.* // *Актуальные проблемы строительства, транспорта, машиностроения и техносферной безопасности. Материалы IV-й ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета*. Н.И. Стоянов (отв. ред.). 2016. С. 192-195.

## WET METHOD FOR PREPARING LIQUID GLASS ON SILICA ADDITIVES

©<sup>1,2</sup> S-A. Yu. Murtazaev, <sup>1,2</sup> M. Sh. Salamanova, <sup>3</sup> Yu. I. Koryanova

<sup>1</sup>GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

<sup>2</sup>Complex Research Institute named after  
Kh. I. Ibragimov of the RAS, Grozny, Russia

<sup>3</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

A comparative analysis of the technologies of binders showed that an aqueous solution of sodium alkaline silicates has a high binding capacity, promotes the formation of a durable cement stone, and is well combined with components of both mineral and organic origin. The paper presents the facts of the prospects for the use of liquid sodium glass in construction.

The proposed accelerated method for obtaining sodium water glass by the wet method using silica additives will solve the problem of carbon dioxide emissions into the atmosphere and expand the resource base through the use of substandard local raw materials.

**Keywords:** liquid glass, volcanic tuff, quartz sands, caustic soda, fine powders.

### REFERENCES

1. Kracek, F. C. The System Sodium Oxide-Silica. *The Journal of Physical Chemistry*. 1930. № 34. P. 1583-1598.
2. Bazhenov, Yu. N., Murtazaev, S-A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Saidumov, M. S. 'High-Performance SCC-Concrete at Earthquake Resistant Construction (Vysokokachestvennye SUB-betony dlya seismostoikogo stroitel'stva)'. *International journal of environmental & science education 2016*, VOL. 11, NO. 18, 12779-12786 Article Number: ijese. 2016.950. Published Online: September 28, 2016 Article Views: 3 | available at: 6. URL <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914231>
3. Korolev, E. V. Korolev, E. V. and Grishina, A. N. (2013) 'Filled Binder for the Water-Glass Based Radiation-Protective Composites'. *Advanced Materials Research*. Vol. 746. P. 281-284.
4. Toub, M. (1975) *Mekhanizmy neorganicheskikh reaktsii*. [Mechanisms of inorganic reactions]. M. Toub. Mir, Moscow, 275 p.
5. Korneev, V. I. and Danilov, V. V. (1996) *Rastvorimoe i zhidkoe steklo*. [Soluble and liquid glass]. Stroiizdat. Saint Petersburg, 216 p.
6. Andersson, K.R. Dent, Glasser, L. S. and Smith, D. N. (1982) 'Polymerization and Colloid Formation in Silicate Solutions'. *Journal of the American Chemical Society*. Ch. 8. Pp. 115-131.
7. Salamanova, M. Sh., Ismailova, Z. Kh. and Bisultanov, R. G. (2020) 'Obtaining sodium silicate solutions for the activation of mineral powders (Poluchenie silikat natrievykh rastvorov dlya aktivatsii mineral'nykh poroshkov)'. *V sbornike: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2020)*. P. 012057. DOI: 10.1088 / 1757-899X / 905/1/012057
8. Salamanova, M. Sh., Murtazayev, S-A. Yu. and Alaskhanov A. Kh. 'Structural Formation of a Clinkless Cement Binding Alkali Battery with Thermoactivated Margel' (Strukturoobrazovaniya besklinskernogo tsementnogo vyazhushchego shchelochno go zatvoreniya s termoaktivirovannym mergelem). *Materials Science Forum* (Volume 1011), P. 8-13. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1011.8>
9. Salamanova, M. Sh., Batayev, D. K.-S. and Uzaeva, A. A. 'Recipes of Knitting Systems Alkaline Activation Using Natural Raw Materials of the Chechen Republic' (Retseptury vyazhushchikh

- sistem shchelochnoi aktivatsii s ispol'zovaniem prirodnogo syr'ya Chechenskoj Respubliki). *Materials Science Forum* (Volume 1011), P 1-7, available at: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1011.1>
10. Salamanova, M. Sh., Murtazaev, S-A. Yu., Bisultanov, R. G. and Murtazaeva, T. S-A. (2016) 'Vysokokachestvennye modifitsirovannye betony s ispol'zovaniem vyazhushchego na osnove reakcionno-aktivnogo mineral'nogo komponenta'. *Stroitel'nye materialy*. №8. Pp. 74-80. (№790 Perechnya izdani, vkhodyashchikh v mezhdunarodnye, referativnye bazy dannykh i sistemy tsitirovaniya (Chemical Abstracts))
  11. Salamanova, M. Sh., and Murtazaev, S-A. Yu. (2019) 'Tsementy shchelochnoi aktivatsii: vozmozhnost' snizheniya energoemkosti polucheniya stroitel'nykh kompozitov'. [Cements of alkaline activation: the possibility of reducing the energy consumption of obtaining building composites. Building materials]. *Stroitel'nye materialy*. №7. Pp. 32-41. (№790 Perechnya zhurnalov VAK) Indeksiruetsya v Russian Science Citation Index na platforme Web of Science
  12. Nesvetaev, G., Koryanova. Y. and Zhilnikova, T. (2018) 'On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete'. *V sbornike: MATEC Web of Conferences 27. Ser. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFoCE 2018"*. Pp. 04018.
  13. Stelmakh, S. A., Nazhiev, M. P., Shcherban, E. M., Yanovskaya, A. V., and Cherpakov A. V. (2018) 'Selection of the composition for centrifuged concrete, types of centrifuges and compaction modes of concrete mixtures'. *Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA 2018)*. Abstracts & Schedule. Edited by Yun-Hae Kim, I.A. Parinov, S.-H. Chang. P. 337.
  14. Shuisky, A., Stelmakh, S., Shcherban, E. and Torlina, E. (2017) 'Recipe-technological aspects of improving the properties of non-autoclaved aerated concrete'. *MATEC Web of Conferences Ser. "International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2017"*. P. 05011.
  15. Soldatov, A. A., Sariiev, I. V., Zharov, M. A. and Abduraimova, M. A. (2016) 'Stroitel'nye materialy na osnove zhidkogo stekla'. *V sbornike: Aktual'nye problemy stroitel'stva, transporta, mashinostroeniya i tekhnosfernoi bezopasnosti. Materialy IV-i ezhegodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta. N.I. Stoyanov (otvetstvennyi redaktor)*. [Building materials based on liquid glass. In the collection: Actual problems of construction, transport, mechanical engineering and technosphere safety. Materials of the IV-th annual scientific-practical conference of the North Caucasus Federal University. N.I. Stoyanov (executive editor), p. 192-195.

**ВЕСТНИК ГГНТУ**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**2021. Том XVII. № 2 (24)**

Редактор – *Таймасханова З.Р.*  
Корректор, дизайн и верстка – *Маслов Е.Н.*  
Технический секретарь – *Алаудинова А.И.*

Выход в свет 25.08.2021  
Формат 60x84/8. Печать офсетная  
Усл. печ. л. 10,7. Тираж 350 экз. Заказ № 64

Свободная цена

Типография: ИПЦ ИП Цопанова А.Ю.  
362002, г. Владикавказ, пер. Павловский, 3

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ №ФС77-79693 от 27 ноября 2020 г.

Журнал основан в 2001 г.