

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ® № 10

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X (Print)  
ISSN 2658-6991 (Online)



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU ОКТЯБРЬ 2020 г. (785)

**PROGRESS GROUP**



ГЛОБАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ  
ДЛЯ ИНДУСТРИИ СБОРНОГО  
ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

[www.progress-group.info](http://www.progress-group.info)







## Промышленно-строительный холдинг «Первый ДСК»

- » Строительство многоквартирных жилых домов «под ключ»
- » Современные методы проектирования, включая BIM-моделирование
- » Производство железобетонных конструкций по индивидуальным проектам
- » Гибкие технологии и высокое качество заводского производства
- » Финишная отделка квартир в короткий срок и за разумный бюджет
- » Индивидуальные архитектура и планировка в каждом проекте
- » Возведение жилого дома «под ключ» за 12 месяцев
- » Мощность более 500 000 кв м полезной площади в год
- » Разнообразные фасадные системы
- » Дома Первого ДСК соответствуют стандартам программы Реновации

**+7 (495) 276-26-67, [www.dsk1.ru](http://www.dsk1.ru)**



# Журналы издательства СТРОЙМАТЕРИАЛЫ



[www.journal-cm.ru](http://www.journal-cm.ru)  
ISSN 0585-430X (Print)  
ISSN 2658-6991 (Online)



[www.journal-hc.ru](http://www.journal-hc.ru)  
ISSN 0044-4472



[www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru)  
ISSN 0005-9889

Индекс **70886**

Индекс **70283**

Индекс **85502**

по объединенному каталогу



«Пресса России»

## На электронную версию можно подписаться

- на сайтах журналов

<https://journal-hc.ru/index.php/ru/podpiska-2021>

<https://journal-cm.ru/index.php/ru/podpiska-2021>

и издательства [www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru) в разделе «Подписка» можно оформить подписку на электронную полнотекстовую версию журнала в формате \*.pdf. Это позволит вам получать журнал еще до выхода из типографии и быть независимым от почтового ведомства России.

- на сайтах наших партнеров:

[elibrary.ru](http://elibrary.ru)

[delpress.ru](http://delpress.ru)

[www.ivis.ru](http://www.ivis.ru)

[www.rucont.ru](http://www.rucont.ru)

## Оформить подписку в редакции можно с любого месяца на любой период

Для этого необходимо составить заявку в произвольной форме с указанием названия организации, юридического и почтового адреса и отправить ее на e-mail: [mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru) или [rifsm@mail.ru](mailto:rifsm@mail.ru)

## Уважаемые читатели!

Завершается 65 год издания журнала «Строительные материалы»<sup>®</sup> — первого, с которым началась история нашего издательства в 1993 г. 2020 год для всех был трудным, и мы с тревогой ждем 2021 г. Но вне зависимости от развития эпидемической ситуации и социально-экономических сложностей, не остановится научная мысль, продолжится подготовка специалистов высшей квалификации, люди продолжают строить и создавать, а значит будут востребованы строительные материалы. Следовательно, и журналы издательства «Стройматериалы» будут необходимы для профессиональной деятельности.

Ограничения, вызванные мировой пандемией, не позволили редакции реализовать ряд юбилейных мероприятий, повидаться с вами лично на выставках и конференциях. Поэтому, мы хотим сделать вам небольшой подарок — специальное предложение на подписку.

*Выберите на обратной стороне этого купона нужный журнал,  
а издательство будет доставлять его в течение всего подписного периода за свой счет!  
При подписке на все три журнала издательства, помимо бесплатной доставки,  
мы предоставим скидку 10% от стоимости журналов.*

Ваша экономия может составить более **11** тысяч рублей!

# Оставайтесь с нами!

# ПОДПИСКА ЧЕРЕЗ РЕДАКЦИЮ

Реквизиты поставщика		ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»						
Р/с		40702810238320101351	К/сч	30101810400000000225				
Банк		ПАО СБЕРБАНК						
в	г. Москва	ИНН	7702023918	КПП	771401001	БИК	044525225	
Поставщик		ООО РИФ "СТРОЙМАТЕРИАЛЫ"					К реестру №	
Адрес		125319, Москва г., Черняховского ул., дом 9, корп. 1, кв. 1						
Телефон		(499) 976-22-08						
Грузополучатель						Акцептован	Дата получения	
Адрес								
Телефон								
Плательщик								
			СЧЕТ №	240/П-red				
		Дата				Дата		
↓ я выбираю	Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Цена, руб. коп.	Скидка (%)	Сумма руб. коп.	Ставка НДС	Сумма с НДС руб. коп.
	Подписка на журнал «Строительные материалы»® на 2021 г. (№№ 1-2/2021 г. выходят в сдвоенном виде, увеличенным объемом) 12 номеров\11 экз.	Компл.	1	22800		22800		22800
	Почтовые расходы	Компл.	1	<del>2400</del>		<del>2400</del>		<del>2400</del>
	Подписка на журнал «Жилищное строительство» на 2021 г. (№№ 1-2/2021 г. выходят в сдвоенном виде, увеличенным объемом) 12 номеров\11 экз.	Компл.	1	20520		20520		20520
	Почтовые расходы	Компл.	1	<del>2400</del>		<del>2400</del>		<del>2400</del>
	Подписка на журнал «Бетон и железобетон» на 2021 г. 6 номеров\6 экз	Компл.	1	8640		8640		8640
	Почтовые расходы	Компл.	1	<del>1200</del>		<del>1200</del>		<del>1200</del>
	Подписка на комплект журналов Издательства «Строительные материалы»®, «Жилищное строительство», «Бетон и железобетон» на 2021 г.	Компл.	1	51960		46764		46764
	Почтовые расходы	Компл.	1	<del>2400</del>		<del>2400</del>		<del>2400</del>
							НДС:	-
						Всего к оплате:		

Сумма к оплате прописью \_\_\_\_\_ руб.



НДС не облагается

Выписал И.В. Кутейникова бух. Кутейникова И.В.



Учредитель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,  
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,  
д. 9, корп. 1, кв. 1  
Издатель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»  
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,  
д. 9, корп. 1, кв. 1  
Свид. о регистрации ПИ № 77–1989  
ISSN 0585-430X (Print) ISSN 2658-6991 (Online)  
Входит в Перечень ВАК, РИНЦ,  
Russian Science Citation Index  
на платформе Web of Science  
Адрес редакции: Россия, 127434, г. Москва,  
Дмитровское ш., д. 9, стр. 3

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ® № 10

Основан в 1955 г. (785) Октябрь 2020 г.

Тел.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36 mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

## Отрасль в современных экономических условиях

А.А. СЕМЁНОВ

Российский рынок цемента (итоги 9 месяцев 2020 г.) ..... 6

## Индустриальное домостроение

Инновации для индустриального домостроения на юбилейной

X Международной научно-практической конференции InterConPan-2020 ..... 8

Одна из самых современных производственных линий

для выпуска сборных ЖБИ в Европе (Информация) ..... 16

Выездная сессия конференции InterConPan-2020 прошла

на Ростокинском заводе ЖБК (Первый ДСК) (Информация) ..... 20

## Современные бетоны

А.Ф.-К. АЛЬ-ХАВАФ, А.И. НИКУЛИН

Анализ деформативно-прочностных характеристик бетонов,

изготовленных с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня ..... 22

## Материалы для дорожного строительства

С.В. НОСОВ, Б.А. БОНДАРЕВ, И.С. НОСОВ

Особенности технологии строительства дорожных одежд

из провакуумированной асфальтобетонной смеси ..... 31

С.Ю. АНДРОНОВ, Ю.Э. ВАСИЛЬЕВ, А.В. КОЧЕТКОВ, В.И. АЛФЕРОВ

Способ равномерного введения фиброволокна в битумную суспензию

для устройства пружинящих асфальтобетонных слоев ..... 38

## Материалы и конструкции

В.П. СЕЛЯЕВ, Л.И. КУПРИЯШКИНА, Е.Л. КЕЧУТКИНА, Н.Н. КИСЕЛЕВ, О.В. ЛИЯСКИН

Механические характеристики вакуумных теплоизоляционных панелей:

диаграммы деформирования, прочность, модули деформаций ..... 44

В.И. КОНДРАЩЕНКО, А.В. САВИН, Чжуан ВАН

Композиционные подрельсовые основания. Конструкции ..... 52

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.

**Founder of the journal:** «STROYMATERIALY»  
**Address:** 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,  
 Moscow, 125319, Russian Federation  
**Publisher:** «STROYMATERIALY»  
 Advertising-Publishing Firm, OOO  
**Address:** 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,  
 Moscow, 125319, Russian Federation  
 Registration certificate PI № 77–1989  
**ISSN 0585-430X (Print) ISSN 2658-6991 (Online)**  
 Included in the list of journals of the Higher  
 Attestation Commission (Russia), Russian Science  
 Citation Index on the platform Web of Science  
**Editorial address:** 9/3 Dmitrovskoye Highway,  
 127434, Moscow, Russian Federation

Monthly scientific-technical and industrial journal  
**STROITEL'NYE**  
**MATERIALY**® № 10  
 Founded in 1955 (785) October 2020

Tel.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36 mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

**Industry under present economic conditions**

A.A. SEMENOV

**Russian Cement Market (Results of 9 Months of 2020) ..... 6**

**Prefabricated Construction**

**Innovations for Industrial Housing Construction at the Jubilee**

**X International Scientific-Practical Conference InterConPan-2020 ..... 8**

**One of the Most Modern Production Lines for the Production**

**of Precast Concrete Products in Europe (Information) ..... 16**

**The Visiting Session of the InterConPan-2020 Conference was Held**

**at the Rostokinsky ZHBK Plant (First DSK) (Information) ..... 20**

**Modern concretes**

A.F.Q. AL-KHAWAF, A.I. NIKULIN

**Analysis of Deformative-Strength Characteristics of Concretes, Manufactured**

**with Addition of Coarse Aggregate, Obtained from Concrete Rubbles ..... 22**

**Materials for road construction**

S.V. NOSOV, B.A. BONDAREV, I.S. NOSOV

**Features of the Technology of Construction of Road Pavements from Vacuum-Treated Asphalt Concrete Mix ..... 31**

S.Yu. ANDRONOV, Yu.E. VASIL'EV, A.V. KOCHETKOV, V.I. ALFEROV

**Method for Uniform Introduction of Fiber into a Bitumen Suspension**

**for Arranging Springing Asphalt Concrete Layers ..... 38**

**Materials and structures**

V.P. SEL'YAEV, L.I. KUPRIYASHKINA, E.L. KECHUTKINA, N.N. KISELEV, O.V. LIYASKIN

**Mechanical Characteristics of Vacuum Thermal Insulation Panels:**

**Deformation Diagrams, Strength, Deformation Modules ..... 44**

V.I. KONDRASHCHENKO, A.V. SAVIN, Chuang WANG

**Composite Underrail Basements. Constructions ..... 52**

The authors of published materials are responsible for the accuracy of the submitted information, the accuracy of the data from the cited literature and for using in articles data which are not open to the public. The Editorial Staff can publish the articles as a matter for discussion, not sharing the point of view of the author. Reprinting and reproduction of articles, promotional and illustrative materials are possible only with the written permission of the editor-in-chief. The Editorial Staff is not responsible for the content of advertisements and announcements.

# Редакционный совет

## Главный редактор:

**ЮМАШЕВА Е.И.,**  
инженер-химик-технолог, почетный строитель России

## Председатель редакционного совета:

**РЕСИН В.И.,**  
д-р экон. наук, профессор, академик РААСН (Москва)

**АЙЗЕНШТАДТ А.М.,**  
д-р хим. наук, профессор (Архангельск)

**АСКАДСКИЙ А.А.,**  
д-р хим. наук, профессор (Москва)

**БУРЬЯНОВ А.Ф.,**  
д-р техн. наук, директор Российской  
гипсовой ассоциации (Москва)

**ВАЙСБЕРГ Л.А.,**  
д-р техн. наук, профессор, академик РАН (Санкт-Петербург)

**ВЕРЕЩАГИН В.И.,**  
д-р техн. наук, профессор (Томск)

**ГОРИН В.М.,**  
канд. техн. наук, президент Союза производителей керамзита  
и керамзитобетона (Самара)

**ЕРОФЕЕВ В.Т.,**  
д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (Саранск)

**КОРОЛЕВ Е.В.,**  
д-р техн. наук, профессор (Москва)

**КРИВЕНКО П.В.,**  
д-р техн. наук, профессор (Украина)

**ЛЕОНОВИЧ С.Н.,**  
д-р техн. наук, профессор (Беларусь)

**ЛЕСОВИК В.С.,**  
д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН (Белгород)

**МУРТАЗАЕВ С.-А.Ю.,**  
д-р техн. наук, профессор (Грозный)

**НЕДОСЕКО И.В.,**  
д-р техн. наук (Уфа)

**ПИЧУГИН А.П.,**  
д-р техн. наук, профессор (Новосибирск)

**ПУХАРЕНКО Ю.В.,**  
д-р техн. наук, профессор,  
член-корреспондент РААСН (Санкт-Петербург)

**ТРАВУШ В.И.,**  
д-р техн. наук, академик РААСН (Москва)

**ФЕДОСОВ С.В.,**  
д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (Иваново)

**ФИШЕР Х.-Б.,**  
доктор-инженер (Германия)

**ХОЗИН В.Г.,**  
д-р техн. наук, профессор (Казань)

**ЧЕРНЫШОВ Е.М.,**  
д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (Воронеж)

**ШЕБЛ С.М.,**  
д-р наук, профессор (Египет)

**ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.,**  
канд. техн. наук (Омск)

**ШТАКЕЛЬБЕРГ Д.И.,**  
д-р техн. наук, профессор (Израиль)

**ЯКОВЛЕВ Г.И.,**  
д-р техн. наук, профессор (Ижевск)

**Ю ЖЯНГМЯО,**  
д-р философии (Китай, Гуанчжоу)

# Editorial Board

## Editor-in-chief

**YUMASHEVA E.,**  
engineer-chemist-technologist, Honorary Builder of Russia

## Chairman of Editorial Board

**RESIN V.,**  
Doctor of Science (Economy), Professor (Moscow)

**AYZENSHTADT A.,**  
Doctor of Sciences (Chemistry), Professor (Arkhangelsk)

**ASKADSKIY A.,**  
Doctor of Science (Chemistry),  
Professor (Moscow)

**BURYANOV A.,**  
Doctor of Science (Engineering), Director of the Russian Association  
of gypsum (Moscow)

**VAYSBERG L.,**  
Doctor of Science (Engineering), Academician of RAS (St. Petersburg)

**VERESHCHAGIN V.,**  
Doctor of Science (Engineering), Professor (Tomsk)

**GORIN V.,**  
Candidate of Science (Engineering), President of the Union of Haydite  
and Haydite Concrete Producers (Samara)

**EROFEEV V.,**  
Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS  
(Saratov)

**KOROLEV E.,**  
Doctor of Science (Engineering), Professor (Moscow)

**KRIVENKO P.,**  
Doctor of Science (Engineering), Professor (Ukraine)

**LEONOVICH S.,**  
Doctor of Science (Engineering), Professor (Belarus, Minsk)

**LESOVIK V.,**  
Doctor of Science (Engineering), Corresponding Member of RAACS  
(Belgorod)

**MURTAZAEV S.-A.,**  
Doctor of Science (Engineering), Professor (Grozniy)

**NEDOSEKO I.,**  
Doctor of Science (Engineering) (Ufa, Bashkortostan)

**PICHUGIN A.,**  
Doctor of Science (Engineering), Professor, Member of the Russian  
Academy of Natural Science (Novosibirsk)

**PUKHARENKO Yu.,**  
Doctor of Science (Engineering), Professor (St. Petersburg)

**TRAVUSH V.,**  
Doctor of Science (Engineering), academician of RAACS (Moscow)

**FEDOSOV S.,**  
Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS  
(Ivanovo)

**FISHER H.-B.,**  
Doctor-Engineer (Germany, Weimar)

**KHOZIN V.,**  
Doctor of Science (Engineering), Professor (Kazan)

**CHERNYSHOV E.,**  
Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS  
(Voronezh)

**SHEBL S.M.,**  
Doctor of Science, Professor (Egypt)

**SHLEGEL I.,**  
Candidate of Science (Engineering), OOO «INTA-Stroy» (Omsk)

**SHTACKELBERG D.,**  
Doctor of Science (Engineering), Professor (Israel)

**YAKOVLEV G.,**  
Doctor of Science (Engineering), Professor (Izhevsk)

**YU JIANGMIAO,**  
PhD / Associate Professor (China, Guangzhou)

А.А. СЕМЁНОВ, канд. техн. наук, генеральный директор (info@gs-expert.ru)

ООО «ГС-Эксперт» <http://www.gs-expert.ru/>

## Российский рынок цемента (итоги 9 месяцев 2020 г.)

Приведены сведения о состоянии и основных тенденциях развития рынка цемента в России в 2020 г. Обобщены данные об объемах и динамике производства, потребления и внешнеторговых операций с цементом.

**Ключевые слова:** цемент, анализ рынка.

**Для цитирования:** Семёнов А.А. Российский рынок цемента (итоги 9 месяцев 2020 г.) // *Строительные материалы*. 2020. № 10. С. 6–7. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-785-10-6-7>

A.A. SEMENOV, Candidate of Science (Engineering), General Director (info@gs-expert.ru)  
LLC "GS-Expert" <http://www.gs-expert.ru/>

### Russian Cement Market (Results of 9 Months of 2020)

Information on the state and main trends in the development of the cement market in Russia in 2020 is presented. Data on the volumes and dynamics of production, consumption and foreign trade operations with cement are summarized.

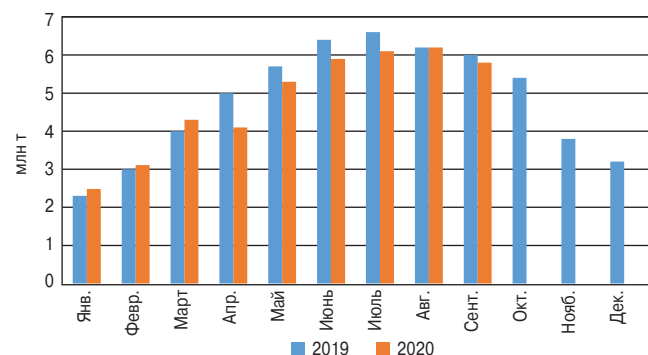
**Keywords:** cement, market analysis.

**For citation:** Semenov A.A. Russian cement market (results of 9 months of 2020). *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 10, pp. 6–7. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-785-10-6-7>

По итогам девяти месяцев 2020 г., по данным Росстата, в России было произведено 43,2 млн т цемента (-4,5% к уровню аналогичного периода предыдущего года). При этом после устойчивого роста объемов производства в I квартале (рост на 5,3% к аналогичному периоду предыдущего года) во II квартале, на фоне введенных ограничений из-за эпидемии COVID-19, выпуск цемента упал почти на 11%. Пик падения пришелся на апрель, когда производство цемента упало на 17,6% по сравнению с апрелем 2019 г. В дальнейшем объемы производства начали постепенно восстанавливаться, и в августе выпуск цемента в стране достиг уровня августа предыдущего года. Однако в целом по итогам III квартала объем производства остается ниже прошлогоднего уровня на 3,8%.

По итогам девяти месяцев 2020 г. снижение объемов производства цемента наблюдается во всех федеральных округах.

Наиболее сильное снижение выпуска цемента в январе–сентябре текущего года наблюдалось Южном

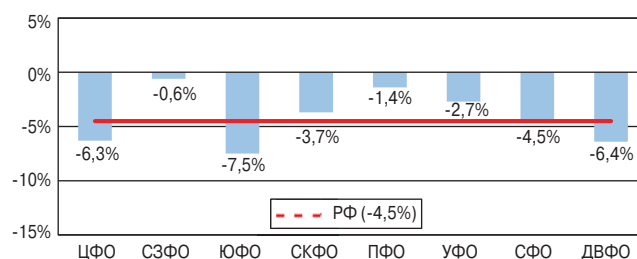


**Рис. 1.** Динамика производства цемента в РФ в 2019–2020 гг. Источник: Росстат

**Fig. 1.** Dynamics of cement production in the Russian Federation in 2019–2020. Source: Rosstat

(-7,5% к аналогичному периоду 2019 г.), Дальневосточном (-6,4%) и Центральном (-6,3%) округах. Наименьшее падение производственных показателей отмечено в Северо-Западном (-0,6% к уровню девяти месяцев 2019 г.) и Приволжском (-1,4%) округах.

Также следует отметить неравномерное изменение объемов выпуска цемента по регионам. Рост объемов производства в январе–сентябре 2020 г. отмечен всего в 11 из 35 регионов, в которых расположены действующие цементные заводы (или помольные терминалы). В III квартале рост производства наблюдался всего в 14 регионах. Наибольшие темпы роста производства по итогам девяти месяцев 2020 г. были характерны для Ульяновской области (рост на 25% по сравнению с уровнем аналогичного периода предыдущего года), Саратовской области (рост на 18%), Республики Крым (рост на 7%). Наибольшее падение объемов выпуска цемента в январе–сентябре 2020 г. отмечено в Алтайском крае (объем производства снизился на 83% по сравнению с уровнем девяти месяцев 2019 г.), Магаданской области (-38%), Еврейской АО (-37%), Липецкой области (-35%), Республике Дагестан (-25%) и Омской области



**Рис. 2.** Темпы роста производства цемента в разрезе федеральных округов по итогам 9 месяцев 2020 г. Источник: Росстат; по оценке ГС-Эксперт

**Fig. 2.** Growth rates of cement production in the context of federal districts based on the results of 9 months of 2020. Source: Rosstat; GS-Expert estimate



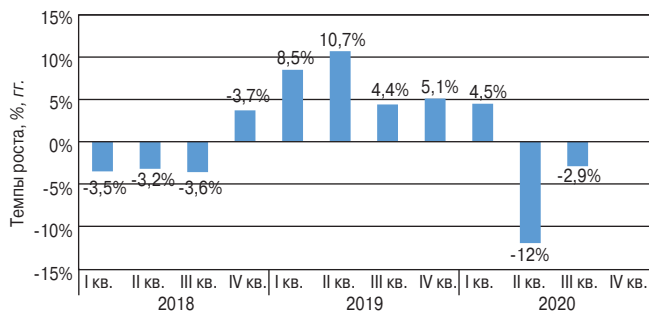


Рис. 3. Поквартальные темпы роста потребления цемента в РФ в 2018–2020 гг. Источник: по оценке ГС-Эксперт

Fig. 3. Quarterly growth rates of cement consumption in the Russian Federation in 2018–2020. Source: GS-Expert estimate

(-22%). Выпуск цемента в Архангельской, Самарской, Тюменской, Сахалинской и Амурской областях, а также в Республике Коми в 2020 г. не осуществлялся. В III квартале возобновилось производство цемента в Алтайском крае.

В структуре производства цемента сохраняется тенденция увеличения доли выпуска бездобавочных портландцементов. По итогам девяти месяцев 2020 г. она превысила 61% общего объема производства цемента в России, хотя еще в 2013 г. доля бездобавочных портландцементов составляла порядка 46%. Второе место по объемам производства занимают портландцементы с минеральными добавками – около 34% общего объема производства цемента в стране. На третьем месте – шлакопортландцемент – менее 3%.

В текущем году сохранилась тенденция сокращения объемов отгрузки цемента железнодорожным транспортом. По итогам девяти месяцев его доля в структуре поставок на внутренний рынок составила уже менее 44%. Т. е. сохраняется сложившаяся в последние годы практика локализации поставок.

В январе–сентябре 2020 г. в Россию было импортировано около 1,2 млн т цемента, на 4% больше, чем за аналогичный период 2019 г. Поставки цемента в Россию осуществлялись из шести стран мира, при этом ФТС впервые засекретила часть поставок (около 19% от общего объема импорта). По данным ГС-Эксперт, это поставки цемента из Ирана. Основной объем поставок традиционно пришелся на долю Республики Беларусь (55%) и Республики Казахстан (20%).

Объем экспорта цемента за девять месяцев 2020 г. составил около 1 млн т, что на 15% больше, чем за аналогичный период 2019 г. Экспортные поставки российского цемента осуществлялись в 15 стран мира, однако основными рынками сбыта были Республика Казахстан и Республика Беларусь, на долю которых суммарно пришлось около 80% российского экспорта. Также в значительных объемах цемент поставлялся в Азербайджан, Финляндию, Латвию, Украину.

Потребление цемента по итогам девяти месяцев 2020 г., по оценкам ГС-Эксперт, снизилось на 4,6% по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года – до 43,5 млн т.

После нескольких лет снижения спроса на цемент, начиная с IV квартала 2018 г. в России наблюда-

лось устойчивое увеличение объемов его потребления. Положительная динамика сохранялась вплоть до II квартала текущего года, когда из-за введенных ограничительных мер спрос на цемент упал на 12% по сравнению с аналогичным периодом 2019 г. Однако уже в III квартале ситуация на рынке стала выправляться. Темпы снижения спроса на цемент замедлились до менее чем 3%. По итогам 2020 г. прогнозируется сохранение существующей динамики – объем потребления цемента в России снизится на 4,5–5,5% по сравнению с уровнем предыдущего года и составит порядка 55,2–55,8 млн т.

Основным рынком сбыта цемента в текущем году был Московский регион (Москва и Московская область), где по итогам девяти месяцев было реализовано, по оценкам ГС-Эксперт, около 6,5 млн т цемента, или около 15% общероссийского потребления этой продукции. На втором месте по объемам потребления цемента находятся Санкт-Петербург и Ленинградская область, на долю этих регионов суммарно пришлось около 7% общероссийского потребления. Третье место по объемам потребления цемента занимает Краснодарский край – около 6%.

После нескольких лет устойчивого роста цен на цемент в 2020 г. наблюдается их стагнация. За девять месяцев текущего года средняя цена производителей на цемент (без учета НДС, стоимости доставки, сбытовых и посреднических расходов) выросла всего на 0,8% по сравнению с уровнем девяти месяцев 2019 г. и составила 3747 р./т. При этом в 2018 г. средняя цена производителей выросла на 5,7%, а в 2019 г. – на 4,5%. Среди федеральных округов наиболее высокие цены производителей на цемент традиционно характерны для предприятий Северо-Западного, Северо-Кавказского, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов. Минимальные цены отмечаются в Приволжском и Уральском федеральных округах.



Специализируется на ведении маркетинговых исследований и мониторинге рынков в области строительных материалов и минерального сырья в России и ряде стран СНГ.

Осуществляет постоянный мониторинг и всесторонний анализ текущей ситуации и основных тенденций на рынках исследуемой продукции, включая анализ данных о ее производстве и потреблении, экспортно-импортных поставках, сырьевой базе, состоянии ведущих участников рынка, а также законодательства, касающегося этих отраслей.

Предлагаем готовые аналитические обзоры рынков, проведение исследований по вашим индивидуальным заказам, а также услуги по мониторингу цен и объемов поставок продукции (внутренние поставки и анализ ВЭД) на ежемесячной или ежеквартальной основе.

Тел: (916) 507-83-77

www.gs-expert.ru

E-mail: info@gs-expert.ru

# Инновации для индустриального домостроения на юбилейной X Международной научно-практической конференции InterConPan-2020

7–9 сентября 2020 г. в Москве состоялась X юбилейная Международная научно-практическая конференция «InterConPan-2020: инновации для индустриального домостроения», которую традиционно организуют АО «ЦНИИЭП жилища» (Москва) и объединенная редакция журналов «Строительные материалы»® и «Жилищное строительство» (Москва) при поддержке Комитета Торгово-промышленной палаты РФ по предпринимательству в сфере строительства. Генеральный спонсор конференции – фирма Sommer (Германия) при участии RIB SAA Software Engineering GmbH (Австрия). Компании PROGRESS GROUP и Allbau Software GmbH (Германия) все 10 лет выступают постоянными спонсором и партнером мероприятия соответственно. Партнерами InterConPan-2020 стали ООО «КНАУФ ГИПС» и ООО «БЕНПАН».

## Innovations for Industrial Housing Construction at the Jubilee X International Scientific-Practical Conference InterConPan-2020

7–9 September 2020, in Moscow was held the Jubilee X International Scientific-Practical Conference «InterConPan-2020: Innovations for Industrial Housing Construction,» which is traditionally organized by JSC «TSNIIEPzhilishcha» (Moscow) and the Joint Editorial Board of the journals «Construction Materials»® and «Housing Construction» (Moscow) with the support of the Committee of the Chamber of Commerce and Industry of the Russian Federation on entrepreneurship in the construction sector. The general sponsor of the Conference is Sommer (Germany) with the participation of RIB SAA Software Engineering GmbH (Austria). The PROGRESS GROUP and Allbau Software GmbH (Germany) have been the permanent sponsors and partners of the event for 10 years, respectively. The partners of InterConPan-2020 are KNAUF GYPSUM LLC and BENPAN LLC.

Конференция InterConPan-2020 стала одним из первых деловых мероприятий профессионального сообщества строителей почти за полгода предупредительных мер, связанных с пандемией. Негативные изменения в экономике, повлекшие существенное снижение покупательского спроса, в том числе на жилье, требуют определения новых путей восстановления и развития строительного комплекса. Именно индустриальное домостроение, обеспечивающее высокое качество и скорость возведения зданий при относительно низкой себестоимости, может стать технологическим лидером, за которым последуют другие строительные технологии. Модернизация производственной базы способствует появлению принципиально новой высококачественной продукции, обладающей набором потре-

бительских качеств, в полной мере отвечающих современным требованиям.

Участники конференции InterConPan-2020, которые приехали из 23 регионов Российской Федерации, а также представители компаний из Германии, Австрии, Италии заслушали и обсудили 28 докладов, четыре из которых представлены в формате онлайн-трансляции из Германии, Австрии, Италии. Более 150 руководителей и ведущих специалистов строительно-инвестиционных компаний, домостроительных предприятий и проектных организаций, представители машиностроительных и инженеринговых компаний, поставщики программного обеспечения, ученые вузов и научно-исследовательских институтов обсудили результаты и перспективы модернизации базы индустриального домостроения.







стриального жилищного строительства, новый качественный уровень современного домостроения, новые конструктивно-технологические системы зданий на базе современных гибких технологий сборного железобетона.

На проблемы, связанные с возможностями возведения индивидуального жилья индустриальным способом, обратил внимание участников председатель Комитета Торгово-промышленной палаты РФ по предпринимательству в сфере строительства **Е.В. Басин**. Он отметил, что ситуация в малоэтажном строительстве требует радикальных преобразований, а задачи кратного увеличения объемов ввода жилья в регионах, в сельской местности и на пострадавших от стихийных бедствий территориях не могут быть выполнены без создания индустрии нового поколения. Только это позволит улучшить качественные характеристики современного жилья, глобально изменить стоимость энергоресурсов, выполнить требования экологических стандартов и повысить производительность труда.



Поэтому формирование комплекса стандартов на строительные конструкции заводского изготовления и технологии их монтажа позволит разработать архитектурно-строительные решения, которые пройдут экспертизу, войдут в соответствующий каталог и смогут применяться в массовом возведении жилья индустриальным методом без дополнительных согласований и повторной экспертизы. В этом случае и банки, и страховые компании с большим доверием будут относиться к малоэтажному жилью. По словам Ефима Владимировича, для повышения заинтересованности инвесторов в строительстве малоэтажного, социального жилья и сопутствующих объектов можно рекомендовать местным органам власти: предоставлять для этих целей земельные участки по льготным ценам вплоть до их бесплатного выделения; устанавливать налоговые преференции, применять систему отложенных платежей; вводить отдельные льготы на период первоначальной эксплуатации; устанавливать льготные расценки на действующих карьерах по добыче и переработке местных стройматериалов (песок, гравий, щебень, глина и т. д.). Он отметил, что необходимо определить приоритетные архитектурно-строительные решения для социального







и индивидуального жилья на ближайшие годы; разработать нормативную базу, каталоги и механизмы применения этих решений. Согласно Указу Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», задача к 2024 г. – выйти на объемы возведения 120 млн м<sup>2</sup> жилья в год. От того, каким будет это жилье, зависит облик городов через 50 лет. Известно, что Минстрой России утвердил изменения к семи сводам правил, которые позволяют нормативно закрепить применение Стандарта комплексного развития территорий. Основной задачей этого документа является создание комфортной среды для проживания граждан. Данное решение позволит остановить хаотичную застройку городов, создать привлекательные пространства для работы и проведения досуга. Жилье должно не просто отвечать запросам современных горожан, но и учитывать образ жизни, который будет актуален через десятилетия. Необходимо помочь рынку формировать комфортную среду, не навязывая никаких условий, а поддерживая инициативы по созданию качественного жилья.

Участники конференции InterConPan каждый раз с большим интересом ждут выступления научного руководителя АО «ЦНИИЭП жилища» д-ра техн. наук **С.В. Николаева**. В докладах Станислава Васильевича каждый год дается новый вектор движения к следующему этапу совершенствования индустриального домостроения. В этом году были представлены принципы квартальной застройки, альтернативы которой со времен Римской империи не придумано. Переход в панельном домостроении на применение ступенчатых фасадов позволяет





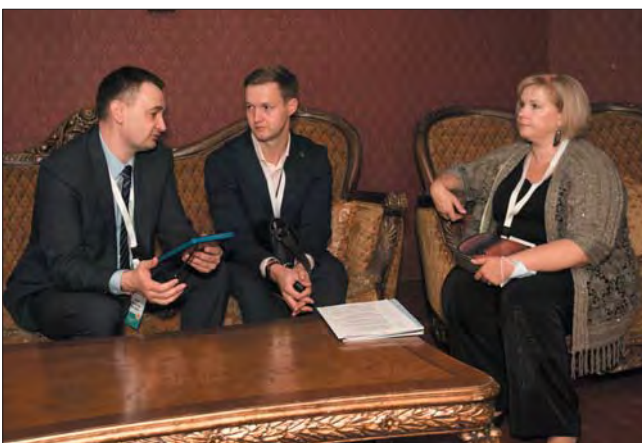


улучшить внешний вид здания за счет отсутствия вертикального шва на фасадной стороне; унифицировать соединения панелей и номенклатуру формовочной оснастки наружных стен; пять стыков соединений и три профиля бортов оснастки позволяют строить здания с переменными фасадами; строить требуемые по планировке секции на едином шаге наружных стен, используя всего три унифицированных соединения; сократить номенклатуру панелей наружных, внутренних стен и перекрытий в 3–4 раза, доведя число типоразмеров изделий до 35–40; увеличить до 15% сьем панелей наружных стен за счет максимального использования ширины декоративного слоя наружной панели и производительного использования камер тепловой обработки; повысить коэффициент заполнения форм за счет унификации изделий и перехода на единый шаг наружных стен; увеличить сьем продукции на 20–25%; создать банк данных по 1–4-комнатным квартирам и студиям в диапазоне от 24 до 110 м<sup>2</sup> с интервалом 2 м<sup>2</sup> в едином шаге (3600 мм) панелей наружных стен на базе 20 секций с этажностью от 4 до 24 этажей; гибко использовать способ создания ступенчатых фасадов домов в планировочных решениях секций домов с узким (до 3600 мм) и широким (свыше 3600 мм) шагом, применяя в зависимости от конструктивного решения сварные или петлевые соединения, а также сплошные или многоспустотные плиты перекрытий. Применение ступенчатого вертикального стыка панелей наружных стен позволяет увеличивать ширину зданий на толщину наружного облицовочного слоя и толщину утеплителя, что, как правило, находится в пределах 250–270 мм и позволяет увеличивать в шаге 3600 мм

площадь комнат на 1 м<sup>2</sup>. Таким образом, способ применения ступенчатых панелей практически не требует затрат, упрощает производство изделий и создает новые возможности для улучшения архитектуры панельных зданий.

Первый заместитель генерального директора ГВСУ «Центр» **В.В. Аблаутов** в рамках конференции рассказал участникам мероприятия о перспективности выбора гибких индустриальных технологий строительства на примере универсальной строительной системы «ДОММОС» – собственной разработке ГВСУ «Центр». Система позволяет строить здания по индивидуальным проектам: варьировать архитектурно-планировочные решения, менять внешний облик зданий, строить дома переменной этажности – от 6 до 25 этажей. Трехслойные наружные стеновые панели (бетон–утеплитель–бетон), сухой узел сопряжения строительных элементов и заводской монтаж окон, герметичность которых проверяется тепловизорами непосредственно на производстве, обеспечивают класс энергоэффективности здания А++. Первые этажи жилых домов «ДОММОС» предназначены для коммерческого использования; высота потолков в жилых помещениях составляет 3,6–4,2 м. Для маломобильных граждан обеспечена доступная среда и вход с нулевого уровня. Серия, разработанная в 2015 г., соответствует современным градостроительным концепциям и уже применяется в застройке Москвы, на инвестиционных и бюджетных объектах.

В 2020 г. из-за пандемии коллеги из Sommer (Германия) и RIB SAA Software Engineering GmbH (Австрия), выступившие в качестве генерального спонсора InterConPan-2020, не смогли посетить мероприятие в Москве. Для связи с коллегами из





Германии и Австрии была организована онлайн-трансляция. Управляющий партнер Sommer Precast **А. Штрассмайер** выступил с приветственным словом к участникам конференции, а доклад о BIM 5D – модельно-ориентированном проектировании, производстве сборных конструкций и управлении строительными проектами представил директор RIB SAA Software Engineering GmbH д-р **К. Хансер**.

О перспективных направлениях развития жилищного строительства собравшиеся могли узнать из содержательного доклада заместителя генерального директора по промышленному производству Первого ДСК **В.Л. Кононова**, который на примере Ростокинского завода ЖБК рассказал о развитии производства, применении новых конструктивно-технологических решений жилых зданий на базе современных гибких технологий сборного железобетона. Уже почти 60 лет Первый ДСК выпускает индустриальные дома: самые первые серии комбината – К7, а сейчас – новые усовершенствованные серии домов, в том числе, по индивидуальным проектам с разнообразной квартирографией по желанию заказчика. Также комбинат участвует в программе реновации, помогая городу эффективно решать проблему переселения граждан из ветхого и аварийного жилья. Это стало возможным благодаря масштабной модернизации производственных площадок Первого ДСК.

Сложная эпидемиологическая обстановка не позволила присутствовать на конференции и представителям фирмы PROGRESS – постоянного спонсора InterConPan. Организованная онлайн-трансляция из Германии «Оборудование, технологии, программные инновационные решения произ-

водства элементов сборного железобетона», представленная **В.А. Лихтнером**, позволила коллегам получить полный спектр информации о новинках фирмы PROGRESS GROUP. А увидеть уже работающее оборудование участники смогли на выездной сессии 9 сентября 2020 г.

О разработке изменений к СП 335.1325800.2017 «Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования» и др. рассказал директор НИИЖБ им. А.А. Гвоздева **Д.В. Кузеванов**. Он отметил основные проблемы в строительной стандартизации – отсутствие разъяснений об изменениях, длительного планирования, единого экспертного сообщества и согласованности документов, а также отсутствие реальных инноваций и объективной технико-экономической оценки их внедрения. Одним из способов решения проблем является обратная связь с производителями. Сформулированы основные направления инноваций для индустриального домостроения: развитие технологии производства новых строительных материалов; безотходные технологии и рециклинг; разработка технологии создания энергоэффективных зданий, в том числе пассивных; ускорение строительства; заводское модульное строительство; искусственный интеллект; автоматизация процессов строительства и применение роботизированных комплексов; цифровое моделирование полных циклов созидательной деятельности; аддитивные технологии, включая технологии 3D-печати.

О рентабельности инвестиций в цифровизацию производства ЖБК рассказал **В.П. Шкатов** – директор Allbau Software GmbH – постоянного партнера InterConPan. Сформулирована смена парадигмы стройиндустрии благодаря цифровизации за счет увеличения







скорости проектирования в 6–10 раз; интеграции с производством (ЧПУ), расчетами, логистикой, экономикой – учетом (1С) и сметами. Окупаемость расходов на приобретение Allplan Precast происходит за счет роста доходной части – смены способа хозяйствования с производственного на маркетинговый, повышения продаваемости квартир. Экономия расходной части – за счет исключения простоев оборудования при ошибках; порядок с закупками и списаниями комплектующих, высвобождение проектировщиков – повышение скорости проектирования КЖ/КЖИ; сокращение труда расчетчиков на подготовку расчетной модели; высвобождение технологов: контроль чертежей и обработка для плоттера, объемы комплектующих в ЛЗК. Удобство и комфортность достигаются за счет повышения наглядности производственного и логистического планирования в 3D; повышения оперативности управления за счет наглядных мобильных решений.

Новые технологии и инновации фасадного строительства с использованием каркасно-обшивных стен представил руководитель по маркетингу и сбыту АКВАПАНЕЛЬ® в России и СНГ **А. Клементьев** (Группа KNAUF Восточная Европа и СНГ). Директор по развитию ООО «БЕНПАН» **Ю.Н. Федоров** предложил реальное направление модернизации сборного железобетона для малоэтажного домостроения. На выездной сессии 8 сентября 2020 г. коллеги смогли посетить завод БЕНПАН.

Как всегда эмоционально и профессионально выступал **В.А. Шембаков** – генеральный директор ЗАО «Рекон». Он рассказал об инновационном домостроении. О новых возможностях универсальной системы крупнопанельного домостроения рассказал **А.Н. Коршунов** – начальник научно-исследователь-

ской и технологической лаборатории АО «Казанский Гипрониавиапром». Он является постоянным автором в журнале «Жилищное строительство» и не пропустил ни одной конференции. Директор ООО «Домкор Проект» **Т.В. Фатыхова** также принимает участие в мероприятии на протяжении 10 лет. В 2015 г. Татьяна Викторовна лично проводила экскурсию для участников InterConPan на ООО «Домкор Индустрия» в Набережных Челнах.

Представитель Sommer Precast в России **Р. Х.-М. Марзаганов** рассказал о гибком и стационарном производстве сборного железобетона для реализации задач строительства жилья в регионах с отсутствующей или низкоразвитой строительной индустрией за счет применения малых и средних производств в мобильном и стационарном вариантах. Он обосновал покрытие всей территории Российской Федерации сетью мобильных и стационарных производств с едиными регламентами производства и строительства для выполнения государственных программ по социальному жилью и устранения последствий стихийных бедствий.

Получить информацию «из первых рук» участники смогли с помощью онлайн-трансляции из Италии. Об инновационных разработках фирмы «ШНЕЛЛ РУС» рассказал генеральный директор **А. Селманай**. О высокотехнологичном производстве железобетонных изделий по технологии «бабочка» с одновременным увеличением производительности производства в два раза сообщил представитель B.T. Innovation GmbH (Германия) **V. Erhart** (Consulting) в онлайн-презентации.

На протяжении 10 лет существования InterConPan подтверждается верность девиза: «Объединение профессионалов гарантирует успех!»







Во второй день работы конференции – 8 сентября 2020 г. прошли две выездные сессии. Участники InterConPan-2020 посетили дочернее предприятие ГВСУ «Центр» – «198 Комбинат железобетонных изделий» в Можайске, где установлены уникальные роботизированные линии по выпуску изделий КПД серии «ДОММОС». Модернизированный «198 КЖИ» отличается высокой производительностью технологического оборудования, возможностью организации непрерывного цикла производства; низкими трудозатратами и минимальными рисками, связанными с человеческим фактором; высокой степенью автоматизации проектных и производственных данных, исключающих технологические ошибки; использованием адаптивных технологий проектирования и производства, позволяющих гибко менять технологический процесс для выполнения производственных заказов разнопланового характера. Участники InterConPan-2020 осмотрели готовую продукцию на складе, отметив высокое качество поверхности панелей и установленных в них деревянных окон со стеклопакетами.

Вторая выездная сессия прошла на производственной площадке завода БЕНПАН, ориентированного на строительство малоэтажных индивидуальных и многоквартирных жилых домов и объектов инфраструктуры, позволила участникам InterConPan-2020 оценить технологию, которая в короткие сроки может быть адаптирована для использования на существующих заводах ЖБИ с относительно небольшими капитальными вложениями. Участники конференции смогли познакомиться с конструктивным решением двухслойных и трехслойных стеновых панелей БЕНПАН, посетить производство плит перекрытий, представляющих собой ребристую конструкцию с полкой в сжатой зоне, продольными и торцевыми ребрами. Фасадные решения наружных стеновых панелей могут быть разнообразными: либо поставляться с завода с готовым утеплением и устройством на строительной площадке, либо поставляться с завода с готовой подсистемой. Коллеги смогли познакомиться с особенностями логистического планирования.







Выездная сессия в третий день работы конференции – 9 сентября 2020 г. прошла на Ростокинском заводе ЖБК, входящем в ООО «Первый ДСК». Участники увидели новое высокотехнологичное оборудование и познакомились с современными технологиями ведущего мирового поставщика технологий и оборудования для производства изделий из сборного железобетона – компании PROGRESS – постоянного спонсора конференции InterConPan. С запуском новых линий Ростокинский завод расширит возможности по выпуску продукции, а также сможет выпускать более 300 тыс. м<sup>2</sup> жилья в год. Внедрение новых технологий существенно расширило возможности для проектировщиков в плане архитектурного и цветового решения фасадов, что позволяет оформлять кварталы города в индивидуальном стиле и создавать еще более оригинальный, современный и привлекательный архитектурный облик Москвы и Подмосковья, сохраняя при этом доступность жилья для населения.

После посещения предприятия коллеги приняли участие в работе круглого стола «Возрождение проектирования в индустриальном домостроении – осознанная необходимость», на котором обсуждалась необходимость ускорения внедрения проектных идей в технологический процесс, открывающиеся возможности проектирования новых строительных объектов, плюсы и минусы индустриального подхода.

Участники InterConPan-2020 отметили, что в строительной отрасли назрела необходимость в возрождении институтов комплексного проектирования, которые совмещали бы научные и практические навыки.

Огромное количество вопросов при живом общении, касающихся как индивидуальных особенностей именно этого производства, так и отрасли вообще вплоть до нормативной базы, затрагивалось в ходе дискуссии. Проведение круглых столов стало хорошей традицией конференции. Коллеги убеждены, что только вместе можно найти верные пути продвижения индустриального домостроения в регионах Российской Федерации.

В обзоре использованы фото редакции, Е.А. Поляничевой и А.М. Шмырова



**Организаторы выражают благодарность всем участникам конференции InterConPan-2020 за активную профессиональную позицию!**

**До встречи в 2021 году!**

# Одна из самых современных производственных линий для выпуска сборных ЖБИ в Европе

Компания Systembau EDER GmbH & Co KG вложила 12 млн евро в строительство завода в г. Калльхаме (Австрия) и в запуск одной из самых современных линий по производству сборных ЖБИ в Европе. Инновационное технологическое оборудование поставили фирмы EBAWE Anlagentechnik и Progress Maschinen & Automation, программное обеспечение – фирма Progress Software Development (все три фирмы входят в состав группы компаний Progress Group). Новая высокоавтоматизированная линия оснащена по последнему слову техники. На заводе компании Systembau EDER GmbH & Co KG на этой линии выпускаются двойные стеновые панели с теплоизоляцией и без, а также филигранные/сборные перекрытия.

## One of the Most Modern Production Lines for the Production of Precast Concrete Products in Europe

The Company Systembau EDER GmbH & Co KG has invested 12 million euros in the construction of a plant in Kallham (Austria) and the launch of one of the most modern precast concrete production lines in Europe. Innovative technological equipment was supplied by EbaWE Anlagentechnik and progress Maschinen & Automation, while software was supplied by Progress Software Development (all three companies are part of the Progress Group). The new highly automated line is equipped at a state-of-the-art level. At the plant of Systembau EDER GmbH & Co KG this line produces double wall panels with and without thermal insulation, as well as filigree/prefabricated floors.

### Успешное семейное предприятие самостоятельно воспитывает кадры

История успеха компании Systembau EDER GmbH & Co KG (Австрия) началась в 1897 г. На протяжении десятилетий кирпичный завод в г. Пойербах-Брук превратился в инновационный концерн, владеющий кирпичными заводами, заводами товарного бетона и подразделением по строительным системам, которое специализируется на производстве сборных железобетонных элементов.

В 1994 г. в эксплуатацию была введена первая линия циркуляции паллет, которая стала выпускать широкий ассортимент сборных ЖБИ, включая двойные стеновые панели и филигранные/сборные перекрытия. По мере постоянного расширения подразделения по строительным системам увеличивалось разнообразие изготавливаемой продукции. В настоящее время группа EDER предлагает двойные стеновые панели, филигранные/сборные перекрытия, элементы лестничных маршей, балконные плиты и специальные железобетонные элементы всех типов.

В настоящее время штат предприятия насчитывает 140 сотрудников, из которых 110 человек работают

в г. Калльхаме и 30 специалистов – в конструкторских бюро в г. Пойербах. Предприятие большое внимание уделяет обучению и профессиональному воспитанию: 22 из 25 учеников на сегодняшний день работают в компании Systembau EDER GmbH & Co KG, при этом некоторые из них занимают руководящие должности. Предприятие процветает под успешным руководством директора г-на Франца-Йозефа Эдера.

### Партнерские отношения, основанные на доверии

После приобретения и успешного запуска установки для сварки треугольных арматурных каркасов/ферм VGA Versa фирмы Progress Maschinen & Automation руководство компании Eder приняло решение о планировании и реализации нового производства ЖБИ в тесном сотрудничестве с различными специалистами Progress Group. Новые области применения и современные тенденции архитектуры административно-промышленных зданий все более остро ставили перед компанией EDER вопрос о технической адаптации производственных возможностей. Директор Франц-Йозеф Эдер,





Новая высокоавтоматизированная линия циркуляции паллет на заводе EDER в г. Калльхаме  
New highly automated pallet circulation line at the EDER plant in Kallham

который также занимает пост президента Ассоциации австрийских бетонных заводов и заводов сборных ЖБИ (VÖB), не скрывает своего удовлетворения: «Новая линия циркуляции паллет позволяет изготавливать для наших клиентов двойные стеновые панели высотой до 12 м в оптимальных условиях. Благодаря этому мы готовы встретить будущее во всеоружии».

### Автоматизация новой линии

Благодаря новой линии циркуляции паллет фирмы EBAWE Anlagentechnik группе EDER удалось сделать важный шаг в направлении полной автоматизации производства сборных ЖБИ. Новая производственная линия, установленная на заводе в австрийском городе Калльхаме, работает с высокой степенью автоматизации, выпуская двойные стеновые панели с теплоизоляцией и без, а также филигранные/сборные перекрытия. Изготавливаемые сборные желе-



Производство арматурных сеток «точно в срок» на сеткосварочной установке BlueMesh фирмы Progress Maschinen & Automation  
Production of reinforcement meshes «Just-in-time» on a BlueMesh welding machine from Progress Maschinen & Automation



Полностью автоматическая укладка фиксаторов с помощью робота MeshSpacer позволяет компании EDER добиться существенной экономии  
Fully automatic placement of anchors with the MeshSpacer robot enables EDER to achieve significant savings

зобетонные элементы, как правило, используются в высотном, жилищном и промышленном строительстве. В авральные периоды производительность новой линии циркуляции паллет может достигать шести паллет в час. Среди основных технологических постов линии стоит отметить опалубочный робот Form Master, который с помощью захвата также может устанавливать магниты для электрических розеток; распалубочный робот; пост автоматического арматурного производства, новый бетонораздатчик, уплотняющие установки, подъемно-передаточные платформы; переворачивающее устройство; кантователь для распалубки и съема элементов; подъемную траверсу.

Новая линия циркуляции паллет оснащена модульной опалубочной системой Infinity Line® Notch-Free, которая позволяет без зазора опалубивать элементы на паллетах без дополнительных вкладышей. Эта запатентованная система опалубки может работать без проемов под фаску, что на выходе дает идеальные наружные кромки. Опалубочная



Магнитная траверса укладывает сетки на паллеты в соответствии с данными САПР, обслуживает накопитель промежуточного хранения, может поворачивать сетки, если продольные прутки должны располагаться над поперечными прутками, и укладывает сетки на штабельную вагонетку  
The magnetic traverse stacks the nets on pallets in accordance with CAD data, maintains an intermediate storage drive, can rotate the nets if the longitudinal bars are to be located above transverse rods, and places the nets on the stacking car





С помощью гибкой установки для сварки треугольных арматурных каркасов/ферм VGA Versa изготавливаются арматурные каркасы/фермы «точно в срок», что дает компании EDER большой потенциал экономии в области расходов на логистику, складское хранение и обрезки. With the help of a flexible installation for welding triangular reinforcement frames/trusses VGA Versa, reinforcement frames/trusses are manufactured «Just-in-time» which gives EDER great potential for saving in the field of logistics costs, storage and cutting.

система Infinity Line Notch-Free рассчитана на упрощенное и экономичное производство сборных железобетонных элементов непревзойденного качества.

### Иновационные технологии

Недавно надежный бетонораздатчик EBAWE подвергся технологической доработке. На заводе компании EDER впервые установлен новый бетонораздатчик EBAWE eCon® Drive, обладающий рядом инновационных функций. Полностью автоматический бетонораздатчик работает с очень высокой скоростью выгрузки бетонной смеси при высокой точности дозирования. С точки зрения экономичности процесса новый eCon® Drive также имеет значительное преимущество. Усовершенствованная технология приводит к меньшему износу шнеков, дополнительно можно работать без запорной



Высокая скорость выгрузки в сочетании с точным дозированием бетонной смеси нового автоматического бетонораздатчика eCon® Drive. High discharge speed combined with accurate batching of concrete new automatic concrete dispenser mixture eCon® Drive.



Многоосный линейный робот дополняет техническое оснащение автоматизированного арматурного участка на новом заводе компании EDER. Multi-axis linear robot complements technical equipment of the automated reinforcement section at the new EDER plant.

смазки. На новом бетонном заводе EDER бетонораздатчик перемещается по короткому съезду прямо к расположенному у внешнего фасада БСУ и загружается там свежим бетоном. Такая конфигурация снижает затраты на логистику и позволяет сосредоточить работы по мойке и чистке бетонного оборудования в одном месте.

### Арматурное производство 4.0

Арматурный участок на новой линии циркуляции паллет фирмы EDER полностью автоматизирован. Автоматический укладчик Mesh Spacer устанавливает фиксаторы для арматурных сеток на опалубочной поверхности паллет. Процесс укладки оптимизирован благодаря расчетам габаритов элементов и веса арматуры, что позволяет эффективно экономить на фиксаторах.



Помимо филенчатых/сборных перекрытий, компания Eder также выпускает двойные стеновые панели с теплоизоляцией и без – переворачивание выполняется эргономичное переворачивающее устройство. In addition to filigree/prefabricated floors, Eder company also produces skate double wall panels with thermal insulation and without - reversal is performed by an ergonomic reversal device.



Гибкая сеткосварочная установка BlueMesh серии M-System отличается эксплуатационной универсальностью на новом заводе. Она особенно хорошо проявляет себя при работе в режиме «точно в срок», своевременно изготавливая арматурные сетки в соответствии с производственной потребностью линии циркуляции паллет. Наряду с этими преимуществами также можно наладить серийный выпуск арматурных сеток для склада. Для производства филигранных/сборных перекрытий установка дополнительно оснащена автоматическим гибочным устройством для торцевого загиба выступающих прутков. Автоматическая магнитная траверса может не только поворачивать и укладывать сетки на паллеты, но и размещать изготовленные сетки на штабелях вагонетке для других целей. Они могут использоваться, например, для других производственных участков на объекте, как для конструктивных сборных элементов, так и для третьего слоя армирования в изолированных двойных стенах.

Кроме того, универсальная установка для сварки треугольных арматурных каркасов/ферм VGA Versa обеспечивает качественный и экономичный процесс армирования. Данная установка выгодно оснащена полностью автоматической системой регулировки высоты и соответствующим автоматическим механизмом смены диаметра проволоки. Благодаря этим техническим преимуществам использование VGA Versa способствует не только сокращению производственного цикла в связи с отсутствием необходимости переналадки для различной высоты, но и уменьшению расходов вследствие экономии издержек на хранение и обрезки. Изготовленные треугольные арматурные каркасы/фермы также полностью в автоматическом режиме укладываются в подготовленные паллеты линейным роботом с многоосными перемещениями.

### Комплектные решения «из одних рук»

Экономические преимущества от применения системы управления ebos® прослеживаются на всех участках сборного железобетонного производства. Система ebos® была

разработана фирмой Progress Software Development (входит в состав группы компаний Progress Group), которая постоянно совершенствует ее с учетом растущих требований промышленности сборного железобетона. Различные совместимые модули для подсистем гарантируют точное предоставление данных в нужное время и в нужном месте, способствуя бесперебойной эксплуатации всего сборного железобетонного производства с помощью одной унифицированной системы. Это позволяет избежать сложные проблемы с интерфейсами, и клиент получает первоклассный сервис «из одних рук» с широким спектром услуг при простой схеме использования.

Наряду с автоматизацией особое внимание в новой линии уделено оптимизации рабочей среды. Для сотрудников оборудованы новые помещения общественного назначения, большая заводская столовая и эргономичные производственные помещения. Цветовое оформление дизайна интерьера также было продумано с привлечением психолога по цветовой гамме госпожи Биллы Хебенштрайт. Используемые приятные глазу синие и зеленые оттенки призваны оказывать успокаивающее действие, повышать концентрацию и подавлять шум.

Благодаря новой линии компания Eder открывает инновационную страницу сборного железобетонного производства. Мало того, что размеры элементов продолжают расти, EDER снабжает свою продукцию всеми необходимыми принадлежностями, такими как непрерывные трубы, арматурные соединения, электропроводка и проемы, непосредственно на заводе. Высокая степень предварительной готовности ЖБИ существенно ускоряет строительный процесс на стройплощадке, сводя к минимуму монтажные затраты. Руководство компании EDER подводит итог преимуществам сотрудничества между EDER и Progress Group: «Достоинства Progress Group неоспоримы: с одной стороны, глубокое понимание производственного процесса за счет опыта эксплуатации собственных установок, а с другой – комплексное решение «из одних рук». Количество мест стыковки между покупателем и поставщиком сведено к минимуму, что позволяет успешно реализовать проект любой сложности».

**EDER**

Systembau EDER GmbH & Co KG

Bruck 39,  
4722 Peuerbach, Austria  
T +43 7276 24 15 550  
systembau@eder.co.at  
www.eder.co.at

**EBAWE**  
WE FORM YOUR CONCRETE

**PROGRESS GROUP**

EBAWE Anlagentechnik GmbH

Dübener Landstr. 58  
04838 Eilenburg, Germany  
T +49 3423 665 0  
info@ebawe.de  
www.ebawe.de

**progress**  
Maschinen & Automation

**PROGRESS GROUP**

progress Maschinen & Automation AG

Julius-Durst-Str. 100  
39042 Brixen, Italy  
T +39 0472 979 100  
info@progress-m.com  
www.progress-m.com

**PROGRESS SOFTWARE DEVELOPMENT**

**PROGRESS GROUP**

Progress Software Development GmbH

Julius-Durst-Str. 100  
39042 Brixen, Italy  
T +39 0472 979 900  
info@progress-psd.com  
www.progress-psd.com

# ВЫЕЗДНАЯ СЕССИЯ КОНФЕРЕНЦИИ InterConPan-2020



## ПРОШЛА НА РОСТОКИНСКОМ ЗАВОДЕ ЖБК (ПЕРВЫЙ ДСК)

9 сентября 2020 г. участники конференции InterConPan-2020 в рамках выездной сессии посетили модернизированный Ростокинский завод ЖБК, который был выбран основной производственной площадкой Первого ДСК. По словам заместителя генерального директора по промышленному производству Первого ДСК В.Л. Кононова, на реконструированном производстве приступили к выпуску железобетонных изделий для строительства жилых домов по индивидуальным проектам.

### THE VISITING SESSION OF THE INTERCONPAN-2020 CONFERENCE WAS HELD AT THE ROSTOKINSKY ZHBK PLANT (FIRST DSK)

On September 9, 2020, the participants of the InterConPan-2020 Conference during the visiting session visited the Rostokinsky ZHBK plant, which has undergone a large-scale reconstruction, and was chosen as the main production site of the First DSK. According to V.L. Kononov, the Deputy General Director for industrial production of the First DSK, the reconstructed production started producing reinforced concrete products for the construction of newest houses with minimal time losses and low material costs.

В 2016 г. Первый ДСК вошел в структуру крупного столичного девелопера ГК ФСК и открыл очередной этап развития предприятия с выпуском широкой номенклатуры железобетонных конструкций высокого качества.

Актив Первого ДСК – это мощная производственная база, состоящая из шести заводов по производству железобетонных изделий, собственной Дирекции по проектированию, Дирекции по строительству, Дирекции по логистике и других профильных подразделений. На комбинате собран опытный коллектив высококвалифицированных специалистов – как на производстве, так и в строительстве. Это более 6,5 тыс. работников. Суммарный производственный потенциал составляет более 500 тыс. м<sup>2</sup> жилья в год.



Первый домостроительный комбинат – предприятие, с создания которого началась история индустриального домостроения в нашей стране. Основная деятельность – проектирование, производство строительных конструкций и возведение жилых домов «под ключ» на территории Москвы и Подмосковья.

В 2019 г. проекту модернизации Ростокинского завода присвоен особый статус и заключен Специальный инвестиционный контракт (СПИК) с Правительством Москвы, по которому комбинат, как активно развивающееся предприятие столицы, получил дополнительные льготы и преференции в обмен на

инвестиции. Общий объем инвестиций в новое производство составил более 2,6 млрд р.

Модернизация завода основывалась на принципе «разумной достаточности». Был изучен уже имеющийся опыт отечественных и зарубежных компаний. С учетом обобщения этого опыта применены высокие техно-







логии там, где без этого не обойтись (например, плоттер), и оставлен ручной труд там, где его применение сопоставимо с применением роботов – например, установка магнитных бортов или укладка матриц. Производительность Ростокинского завода после завершения модернизации составит 300 тыс. м<sup>3</sup> железобетона в год. Первый ДСК сможет выпускать более 500 тыс. м<sup>2</sup> жилья в год с учетом быстрого реагирования на меняющиеся требования и конъюнктуру рынка. И это только первый этап развития комбината. Вторым этапом станет увеличение объемов производства за счет модернизации Воскресенского и Новохоловского заводов.

Модернизация Ростокинского завода очень важна для Первого ДСК. После ввода в эксплуатацию производственных линий в Ростокино все заводы Первого ДСК, работающие по «гибким» технологиям, смогут производить сборные конструкции под любой проект заказчика, независимо от того, будет ли это городской заказчик или сторонний девелопер. Комбинат полностью перейдет на выпуск индивидуальных домов по промышленной технологии.

При посещении Ростокинского завода ЖБК, входящего в ООО «Первый ДСК», участники InterConPan-2020 увидели новое высокотехнологичное оборудование и современные технологии ведущего мирового поставщика технологий и оборудования для производства изделий из сборного железобетона – компании PROGRESS, которые позволят существенно расширить ассортимент выпускаемой продукции и реализовать индивидуальные архитектурно-планировочные решения жилых домов промышленным методом. Экскурсию по заводу проводил А.С. Казин – руководитель проекта модернизации заводского производства Первого ДСК. Он подробно рассказал, как работает линия циркуляции паллет для сборных железобетонных элементов, и остановился на каждом этапе, чтобы коллеги могли задать все свои вопросы. Большой интерес у профессиональной аудитории вызвала работа поста

укладки плитки, армирования и бетонирования наружного слоя, укладки теплоизоляционных материалов и установки гибких связей, работа сушильной камеры. Все процессы автоматизированы, но на определенных участках применяется ручной труд.

Внедрение новых технологий существенно расширило возможности для проектировщиков в плане архитектурного и цветового решения фасадов, что позволяет оформлять кварталы города в индивидуальном стиле и создавать еще более оригинальный, современный и привлекательный архитектурный облик Москвы и Подмосковья, сохраняя при этом доступность жилья для населения.

Завершающим этапом выездного мероприятия стал круглый стол, посвященный работе проектного подразделения комбината. В настоящее время в штате Дирекции по проектированию работает около двухсот человек, включая конструкторов, архитекторов; есть также инженеры, электрики, BIM-менеджеры и другие специалисты. Прежде проектировщики комбината занимались привязкой типовых проектных решений, которые разрабатывали центральные проектные институты. За счет внедрения новых технологий заводского производства специалисты перешли на индивидуальное проектирование, выполняя весь ком-

плекс работ, начиная с архитектурно-планировочных решений по заданию заказчика и заканчивая внедрением проекта в стройку. Также проектировщики разрабатывают КЖИ для заводского производства и сопровождают стройку комплексным проектированием. Современная технология производства позволяет сократить срок проектирования нового дома до девяти месяцев.

Вопросы организаторам выездной сессии касались как нюансов работы проектировщиков, так и технологических процессов на производстве и на стройке. Проведенное в рамках конференции посещение Ростокинского завода еще раз подтвердило неформальный слоган: «Первый ДСК – первый во всем!»



АЛЬ-ХАВАФ А.Ф.-К., инженер (аспирант) (alifadhel087@gmail.com),  
А.И. НИКУЛИН, канд. техн. наук (nikulin137@yandex.ru)

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

## Анализ деформативно-прочностных характеристик бетонов, изготовленных с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня

В практике строительства используются различные бетоны, которые в зависимости от назначения отвечают различным требованиям в плане надежности, стойкости к внешним факторам среды и по другим не менее важным параметрам. В представленной работе в качестве крупного заполнителя рассмотрен щебень, полученный в процессе дробления бетонного лома из фрагментов разрушенных зданий и сооружений. Результаты экспериментальных исследований различных ученых показали, что применение щебня из бетонного лома в качестве заполнителя является перспективным направлением, позволяющим снизить затраты на строительное производство в масштабах страны. Таким образом, экономический эффект от применения дробленого бетона в качестве заполнителя для производства различных бетонов может оказаться очень весомым для строительной отрасли в целом. Результаты экспериментов показывают, что использование переработанного бетона в виде щебня возможно и необходимо, поскольку увеличение объемов строительного лома создает огромную экологическую проблему для всех стран.

**Ключевые слова:** щебень из бетонного лома, крупный заполнитель, бетон, прочность, сжатие, растяжение, изгиб, модуль упругости.

**Для цитирования:** Аль-Хаваф А.Ф.-К., Никулин А.И. Анализ деформативно-прочностных характеристик бетонов, изготовленных с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня // *Строительные материалы*. 2020. № 10. С. 22–30.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-785-10-22-30>

A.F.Q. AL-KHAWAF, Engineer (postgraduate student) (alifadhel087@gmail.com); A.I. NIKULIN, Candidate of Sciences (Engineering) (nikulin137@yandex.ru) Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostukova Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

### Analysis of Deformative-Strength Characteristics of Concretes, Manufactured with Addition of Coarse Aggregate, Obtained from Concrete Rubbles

In the construction practice, various concretes are used which, depending on the purpose, meet different requirements in terms of reliability, resistance to external environmental factors and other equally important parameters. In this article, as a coarse aggregate, crushed stone obtained in the process of crushing concrete waste from fragments of destroyed buildings and structures is considered. The results of experimental studies by various scientists have shown that the use of concrete rubble as aggregate is a promising direction. Thus, the economic effect of the use of crushed concrete as a coarse aggregate for the production of various concretes can be very significant for the construction industry as a whole. The results of the experiments presented in this article show that the use of recycled concrete in the form of crushed stone is very necessary, since an increase in the volume of construction waste creates a huge environmental problem for all countries and its partial solution is connected, including with the scientific research presented here.

**Keywords:** crushed stone from concrete waste, coarse aggregate, concrete, strength, compression, tension, bending, modulus of elasticity.

**For citation:** Al-Khawaf A.F.Q., Nikulin A.I. Analysis of deformative-strength characteristics of concretes, manufactured with addition of coarse aggregate, obtained from concrete rubbles. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 10, pp. 22–30. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-785-10-22-30>

Возможное истощение природных источников по добыче заполнителей стало широко распространенной проблемой. Это привело к необходимости поиска альтернативного заполнителя. В последние годы исследования бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного лома вызвали большой интерес. Возможные экономические перспективы использования бетонного лома, а также устойчивый рост бетонных отходов продолжали продвигать исследования свойств крупного заполнителя, полученного при дроблении фрагментов разрушенных зданий и сооружений, в то время как различные факторы, связанные с обеспечением контроля качества, препятствуют его использованию в практике строительства [1]. Основное различие между заполнителем из бетонного лома и природным заполнителем – это остаточ-

ный раствор, который окружает природный камень в заполнителе из дробленого бетона.

Для краткости последующего изложения будем называть бетонным щебнем фракционированный крупный заполнитель, полученный при дроблении фрагментов разрушенных зданий и сооружений. Такой заполнитель сильно отличается от природного гранитного заполнителя, так как обычно имеет более грубую структуру и угловатую форму. Кроме того, крупный заполнитель из бетонного щебня обычно обладает более низкой удельной плотностью и более высоким водопоглощением и пористостью [2], а также высокими абсорбционными свойствами, обусловленными наличием остаточного раствора. Использование сухого крупного заполнителя из бетонного щебня в конструкциях снижает показатель



водоцементного отношения и приводит к более высокой прочности при сжатии [3]. Остаточный раствор также влияет на механические свойства заполнителя из бетонного щебня, что делает его более стойким к истиранию и дроблению по сравнению с природным заполнителем [4].

Крупный заполнитель из бетонного щебня также оказывает влияние на свойства свежеприготовленного бетона. Большая угловатость, шероховатость поверхности, высокое водопоглощение и пористость способствуют снижению удобоукладываемости и подвижности свежесуспензированной бетонной смеси. Быстрая потеря подвижности может быть связана с увеличением количества мелких частиц во время процесса смешивания. Когда смесительный барабан вращается, остаточный раствор разбивается или откалывается и это создает больше мелких частиц [5].

Прочность при сжатии бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня обычно ниже, чем у бетона с природным заполнителем. Исследование [6] показало, что прочность при сжатии бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня может уменьшаться до 25% в зависимости от качества заполнителя. Как отмечается в работе [7], увеличение количества заполнителя из бетонного щебня, используемого в качестве замены традиционного заполнителя, привело к снижению прочности при сжатии. Это снижение прочности обусловлено низкой прочностью остаточного раствора. Исследования, приведенные в работе [8], подтвердили эту тенденцию, связанную с более низким удельным весом, высокой пористостью крупного заполнителя из вторичного бетона. В работе [9] автор делает вывод, что прочность при сжатии зависит от многих факторов, в том числе от водоцементного отношения, процентного содержания природного заполнителя и заполнителя из бетонного щебня, а также от количества остаточного раствора в этом заполнителе. Из работы [10] можно сделать вывод, что даже при полной замене (100%) природного заполнителя на бетонный щебень можно получить бетон, аналогичный бетону с природным заполнителем.

Прочность при растяжении бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня обычно определяется непрямими методами. Было обнаружено, что прочность при растяжении такого вида бетона зависит от множества факторов, таких как содержание бетонного заполнителя, водоцементное отношение, способы смешивания, тип цемента, уход за бетоном и качество заполнителя из бетонного щебня. В работе [11] было выявлено, что прочность при растяжении уменьшается с увеличением содержания крупного заполнителя из бетонного щебня. Прочность при изгибе бетона является еще одним фактором, на который влияют структурные характеристики бетона и который зависит от содержания заполнителя из бетонного щебня, состояния влажности заполнителя и ухода за бетоном, а также от водоцементного отношения и других показателей.

Прочность при изгибе бетона из фракционированного бетонного щебня, как было отмечено, уменьшается с увеличением его содержания. Также в работе [11] отмечается, что величина модуля упругости бетона снижается при включении в его состав переработанного бетонного лома.

### Методология исследования

С целью изучения свойств бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня были подготовлены два основных типа смесей: одна из них с использованием природного гравия в качестве крупного заполнителя (тип А), другая с заменой 30% природного заполнителя бетонным щебнем (тип Б). В обоих случаях в качестве мелкого заполнителя использовался природный кварцевый песок. Для охвата более широкого диапазона изменения исследуемого параметра были изготовлены бетонные образцы с разной пропорцией заполнителей. Для исследования влияния прочности исходного бетона и содержания крупного заполнителя из бетонного щебня на прочность при сжатии исследуемых образцов с этим заполнителем были подготовлены дополнительные типы смесей (М, Р и С). Наряду с прочностью при сжатии бетона проводились также испытания по определению прочности при изгибе, растяжении и модуля упругости. Были получены зависимости параметров прочности при сжатии, изгибе, растяжении и модуля упругости от состава исходных компонентов и водоцементного отношения.

### Ход исследования

Испытания образцов проводились в лабораториях научного и инженерного факультетов Университета Мисаны (Ирак). Физические и химические свойства использованного в исследованиях портландцемента представлены в табл. 1, 2 и 3.

В качестве мелкого заполнителя использовался природный песок пустынного происхождения с угловатой формой зерен, имеющий желтовато-коричне-

Таблица 1  
Table 1

Физические свойства портландцемента  
Physical properties of Portland cement

Физические свойства	Результаты испытаний	Ограничения по национальным нормам Ирака № 5/1985
Удельная площадь поверхности по Блейну, м <sup>2</sup> /кг	250	>230
Время схватывания: – начало схватывания цементного раствора (ч:мин) – конец схватывания (ч:мин)	1:00 4:45	>45 мин >10 ч
Прочность при сжатии раствора (МПа) в возрасте: 3 сут 7 сут	18,9 25,8	≥15 ≥23
Устойчивость (автоклав), %	0,5	≤0,8

вый цвет. Все параметры сырья и тестовых образцов выполнены в соответствии с рекомендациями [12] применительно к двум типам крупного заполнителя:

а) из дробленого гранитного щебня с максимальным размером зерен 20 мм;

б) в виде крупного заполнителя из бетонного щебня классов 20–30 МПа и аналогичного заполнителя из бетона более высоких классов 30–40 МПа, которые были получены из бетонных кубов, разрушенных во время лабораторных испытаний. Максимальный размер зерен данного заполнителя также составлял 20 мм.

Зерновой состав двух типов крупного заполнителя из бетонного щебня показан на рис. 1. Все материалы использовались в сухом состоянии. Для изготовления бетона применялась обычная водопроницаемая вода.

Для проведения данного эксперимента были изготовлены две группы бетонных смесей: основная и дополнительная.

Основная группа включала бетонные смеси типов А и Б:

– смесь типа А изготовлена из гранитного щебня в качестве крупного заполнителя и природного кварцевого песка в качестве мелкого заполнителя;

– смесь типа Б изготавливалась аналогично типу А, но с учетом замены 30% природного заполнителя дробленным щебнем из бетона классов по прочности при сжатии 20–30 МПа.

Для указанных бетонных смесей были выбраны три соотношения составляющих компонентов – цемент:песок:крупный заполнитель (Ц:П:З), для каждого из которых приняты по три значения водоцементных отношений (В/Ц), чтобы охватить широкий диапазон прочностей.

Дополнительная группа включала бетонные смеси типов М, Р и С:

– смесь типа М изготавливалась аналогично типу Б, но с использованием дробленого щебня из бетона классов по прочности при сжатии 30–40 МПа;

– смесь типа Р по сравнению с типом М содержит 50% крупного заполнителя из дробленого бетонного щебня;

– смесь типа С изготавливалась с содержанием 100% крупного заполнителя из дробленого бетонного щебня.

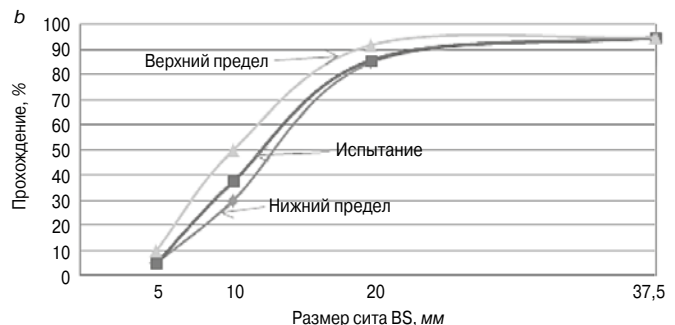
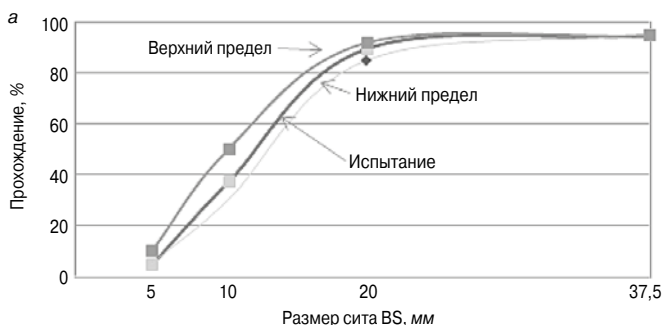


Рис. 1. Зерновой состав двух типов крупного заполнителя из бетонного щебня: а – прочность 20–30 МПа; б – прочность 30–40 МПа  
 Fig. 1. Grain composition of two types of large aggregate from crushed concrete: a – strength 20–30 MPa; b – strength 30–40 MPa

Таблица 2  
Table 2

Минералогический состав портландцемента  
The mineralogical composition of Portland cement

Основные компоненты	Доля от массы цемента, %
Трехкальциевый силикат (C <sub>3</sub> S)	58,25
Двухкальциевый силикат (C <sub>2</sub> S)	22,04
Трехкальциевый алюминат (C <sub>3</sub> A)	6,04
Четырехкальциевый алюмоферрит (C <sub>4</sub> AF)	13,67

Таблица 3  
Table 3

Химические свойства портландцемента  
Chemical properties of Portland cement

Состав оксида	Оксид	Мас. %	Ограничения по национальным нормам Ирака № 5/1985
Известь	CaO	62,65	–
Кремнезем	SiO <sub>2</sub>	21,5	–
Глинозем	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,48	–
Оксид железа	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,45	–
Сульфат	SO <sub>3</sub>	1,85	Не выше 2,8%
Оксид магния	MgO	2,72	Не выше 5%
Потеря веса при прокаливании	LOI	1,73	Не выше 4%
Коэффициент насыщения известью	LSF	0,85	0,66–1,02
Нерастворимый остаток	IR	0,77	Не выше 1,5%

Принятые для исследований составы бетонных смесей и соответствующие им показатели водоцементных соотношений (В/Ц) представлены в табл. 4.

Для достижения необходимой однородной консистенции смеси приготавливались в наклонном барабанном смесителе. Сухие материалы добавлялись в определенном порядке согласно рекомендациям работы [6]. Формирование бетонных образцов производилось путем заливки готовой смеси в заранее подготовленную опалубку определенных размеров. Опалубка имела цельную конструкцию со съемными боковыми стенками для последующего извлечения изделия после застывания бетонной смеси (British standard test concentration of concrete mixtures BS 882:1983 Specification for aggregates from natural



Таблица 4

Table 4

Составы бетонных смесей для всех групп образцов при различных значениях водоцементного отношения  
Compositions of concrete mixes for all groups of samples at different values of water-cement ratio

Состав смеси по массе компонентов (Ц:П:С)	Показатель водоцементного отношения (В/Ц) по массе			
	Смесь типа А	Смесь типа Б	Смеси типов М, Р	Смесь типа С
1:1:2	0,4	0,4	0,45	0,45
	0,45	0,45	0,45	0,45
	0,5	0,5	0,45	0,45
1:1,5:3	0,5	0,5	0,55	0,6
	0,55	0,55	0,55	0,6
	0,62	0,55	0,55	0,6
1:2:4	0,6	0,6	0,65	0,7
	0,65	0,65	0,65	0,7
	0,7	0,7	0,65	0,7

sources for concrete). Сразу после бетонирования опалубочные формы с бетонными образцами были покрыты влажной полотняной тканью и оставлены в лаборатории на 24 ч. Затем образцы были тщательно обработаны и хранились в резервуарах с водой до испытания. Вода в них менялась каждые три недели.

Испытание на сжатие проводилось по ГОСТ 10180–90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Использовались стальные формы для изготовления стандартных кубов 100×100×100 мм. По три куба, изготовленных из бетонных смесей каждого из перечисленных выше составов, испытывали в возрасте 7 и 28 сут для определения их средней прочности при сжатии.

Прочность на растяжение при изгибе определяли на призмах размером 100×100×500 мм. Из каждой бетонной смеси изготавливали по три призмы, которые были испытаны в возрасте 28 сут (рис. 2, *b, c*).

Прочность на растяжение при раскалывании определяли в соответствии с рекомендациями British standard test concentration of concrete mixtures BS 1881-117:1983 «Testing concrete. Method for determination of tensile splitting strength». Для проведения испытания использовались стандартные цилиндры 152×305 мм, которые изготавливались из бетонных смесей каждого из перечисленных выше составов. Прочность на растяжение при раскалывании для каждого состава бетонной смеси определялась по результатам испытаний трех образцов в возрасте 28 сут (рис. 2, *a*).

Модуль упругости бетона находили в соответствии с рекомендациями BS 1881-121:1983 «Testing concrete. Method for determination of static modulus of elasticity in compression». Для испытаний использовались стандартные бетонные цилиндры. В процессе их нагружения фиксировались напряжения и относительные деформации в двух точках диаграммы деформирования: в точке 1, когда продольная относительная деформация достигала 0,00005, и в точке 2 при достижении нагрузки, равной 40% от предельной величины. Соответственно, модуль упругости бетона рассчитывали по формуле:

$$E_b = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0,00005}, \quad (1)$$

где  $E_b$  – значение модуля упругости бетона, МПа;  $\sigma_2$  – напряжение в образце при его сжатии, соответствующее 40% от предельной нагрузки, МПа;  $\sigma_1$  – напряжение, соответствующее относительной деформации 0,00005;  $\varepsilon_2$  – продольная относительная деформация, возникающая в образце при напряжении  $\sigma_2$ .

У испытываемых образцов также определялись плотность зерен, насыпная плотность щебня, водопоглощение. Свойства крупного заполнителя из бетонного щебня представлены в табл. 5.

Результаты испытаний прочности при сжатии бетонных кубов в возрасте 7 и 28 сут, твердеющих в воде, приведены в табл. 6. При этом каждое табличное значение прочности представляет собой среднее из трех испытаний.

Из данных табл. 6 видно, что бетонные смеси типа Б показывают небольшое снижение прочности при сжатии по сравнению с аналогичными смесями типа А в возрасте 7 и 28 сут соответственно для смеси пропорций (1:1:2). Это снижение прочности бетона, изготовленного с добавлением 30% бетонного щебня вместо его природного аналога, связано с меньшей плотностью и удельным весом заполнителя из бетонного щебня.



Рис. 2. Испытание образцов для определения прочностных характеристик бетона: *a* – цилиндрический образец после проведения испытаний на растяжение при раскалывании; *b* – общий вид испытаний для определения прочности на растяжение при изгибе; *c* – образец после проведения испытаний на растяжение при изгибе

Fig. 2. Testing of samples to determine the strength characteristics of concrete: *a* – a cylindrical sample after tensile testing during cracking; *b* – is a general view of tests for determining tensile strength in bending; *c* – the sample after tensile testing in bending

Таблица 5  
Table 5

Свойства заполнителей  
Properties of aggregates

Свойства	Песок	Природный гравий	Крупный заполнитель из бетонного щебня	
			из бетона классов по прочности при сжатии 20–30 МПа	из бетона классов по прочности при сжатии 30–40 МПа
Удельный вес, кг/м <sup>3</sup> – в абсолютно сухом состоянии – при естественной влажности – экспериментальный	2610 2630 2680	2650 2680 2700	1640 1690 1700	1660 1720 1750
Водопоглощение, %	1,29	0,9	3,83	3,37
Плотность, кг/м <sup>3</sup> – в насыпном состоянии – истинная	1400 1478	1204 1266	989 1073	999 1092

Таблица 6  
Table 6

Прочность при сжатии бетонов типов А и Б  
Compressive strength of concrete types A and B

Смесь	Состав смеси		Прочность бетона при сжатии, МПа, в возрасте			
	Ц:П:З по массе компонентов	В/Ц по массе	7 сут		28 сут	
			Тип А	Тип Б	Тип А	Тип Б
1	1:1:2	0,4	37,11	36,99	51,17	47,55
2		0,45	32,12	31,05	41,05	40,96
3		0,5	29,42	28,41	35,55	34,47
4	1:1,5:3	0,5	28,36	31,55	36,1	39,22
5		0,55	22,27	22,38	28,44	32,83
6		0,62	16,25	17,01	22,22	24,82
7	1:2:4	0,6	16,44	18,56	25,72	29,79
8		0,65	13,55	15,46	20,23	24,26
9		0,7	11,22	12,86	16,54	20,77

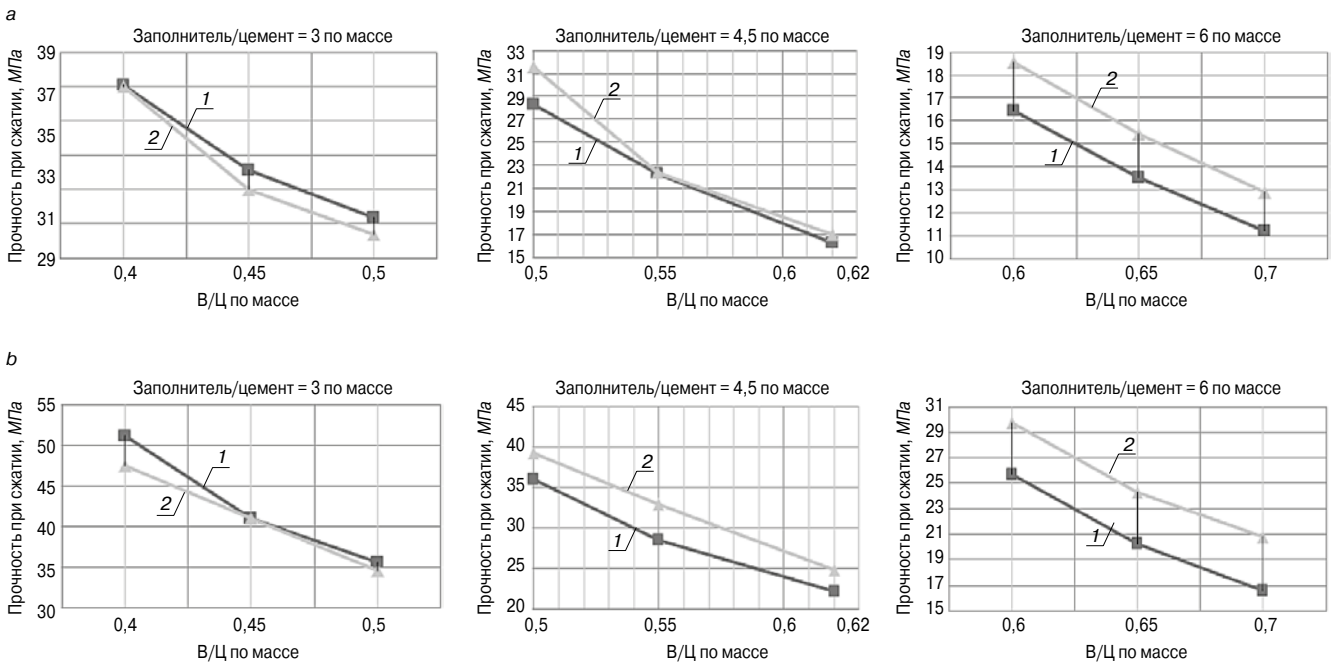


Рис. 3. Прочность при сжатии для двух типов бетонных смесей с различным содержанием заполнителя в зависимости от соотношения В/Ц соответственно в возрасте 7 сут (а) и 28 сут (б): 1 – бетон типа А; 2 – бетон типа Б

Fig. 3. Compressive strength for two types of concrete mixtures with different aggregate contents and w/c ratio, respectively, at the age of 7 days (a) and 28 days (b): 1 – concrete type A; 2 – concrete type B

На рис. 3 можно также заметить, что при увеличении содержания заполнителей в смесях прочность при сжатии бетонных смесей типа Б увеличивается по сравнению с контрольными смесями типа А. Смеси типа Б показывают на 6 и 12% большую прочность при сжатии, чем аналогичные смеси типа А в возрасте соответственно 7 и 28 сут (для соотношения З/Ц=4,5). Это увеличение прочности при сжатии связано с тем, что смеси типа Б имеют менее эффективное водоцементное отношение, которое объясняется более высокой абсорбцией зерен заполнителей

из бетонного щебня. Кроме того, частицы заполнителей из бетонного щебня, которые являются угловатыми и имеют шероховатую поверхностную текстуру, улучшают сцепление с цементом по сравнению с природным заполнителем (ASTM C469–94 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression).

Результаты испытаний прочности бетона при изгибе в возрасте 28 сут приведены в табл. 7. При этом каждое табличное значение прочности представляет собой среднее из трех испытаний.



Таблица 7  
Table 7

Прочность при изгибе для бетонов типов А и Б  
Bending strength for concrete types A and B

Смесь	Состав бетонной смеси		Прочность при изгибе, МПа	
	Ц:П:З по массе компонентов	В/Ц по массе	Тип А	Тип Б
1	1:1:2	0,4	4,85	4,75
2		0,45	4,52	4,44
3		0,5	4,3	4,24
4	1:1,5:3	0,5	3,6	4,22
5		0,55	3,43	3,84
6		0,62	2,55	2,76
7	1:2:4	0,6	2,69	3,53
8		0,65	2,23	2,62
9		0,7	2,15	2,48

Таблица 8  
Table 8

Предел прочности при растяжении бетонов типов А и Б  
Tensile strength of concrete types A and B

Смесь	Состав бетонной смеси		Прочность при растяжении, МПа	
	Ц:П:З по массе компонентов	В/Ц по массе	Тип А	Тип Б
1	1:1:2	0,4	3,84	3,82
2		0,45	3,26	3,29
3		0,5	2,88	2,83
4	1:1,5:3	0,5	3,16	3,38
5		0,55	2,51	2,7
6		0,62	2,23	2,54
7	1:2:4	0,6	2,24	2,62
8		0,65	1,85	2,33
9		0,7	1,65	2,18

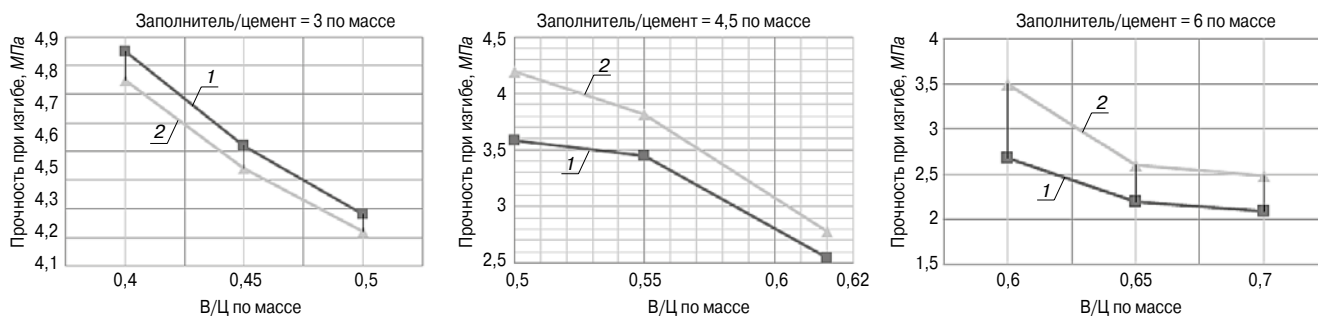


Рис. 4. Зависимости между прочностью бетона при изгибе в 28 сут и В/Ц отношением для двух типов бетонных смесей с различным содержанием заполнителя: 1 – бетон типа А; 2 – бетон типа Б  
Fig. 4. Dependencies between the concrete bending strength at of 28 days and the W/C ratio for two types of concrete mixtures with different aggregate contents: 1 – concrete type A; 2 – concrete type B

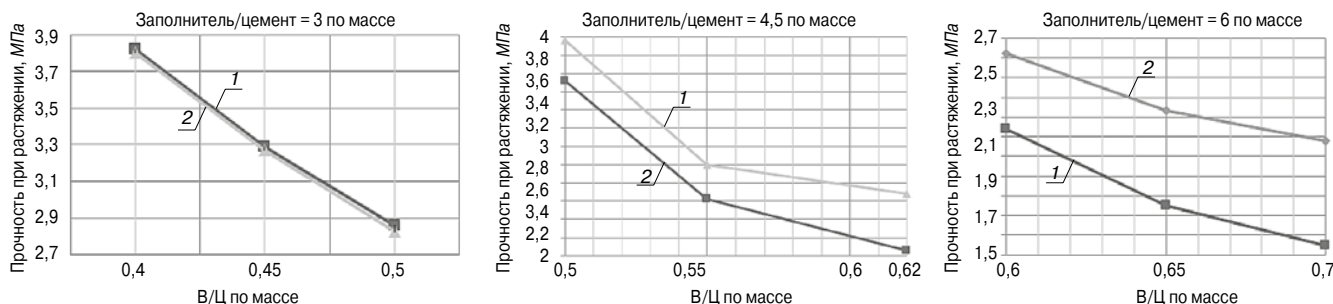


Рис. 5. Взаимосвязь прочности бетона при растяжении с показателем водоцементного соотношения В/Ц для двух типов бетонных смесей с учетом различного содержания крупного заполнителя: 1 – бетон типа А; 2 – бетон типа Б  
Fig. 5. The relationship of concrete tensile strength with an indicator of water-cement ratio (W/C) for two types of concrete mixtures, taking into account the different content of coarse aggregate: 1 – concrete type A; 2 – concrete type B

Зависимости между прочностью бетона при изгибе в 28 сут и отношением В/Ц для двух типов бетонных смесей представлены на рис. 4.

Из табл. 7 и рис. 4 следует, что для смеси типа А прочность при изгибе на 2% больше, чем для аналогичных смесей типа Б при их составе Ц:П:З = 1:1:2. Наличие бетонного щебня увеличивает прочность при изгибе бетонных смесей типа Б по сравнению с типом смеси А. Это объясняется улучшением связи между новой цементной матрицей и старым заполнителем из бетонного щебня.

В табл. 8 приведены результаты испытаний прочности при растяжении исследуемых бетонов в возрасте 28 сут. Каждое табличное значение прочности представляет собой среднее из трех испытаний.

На рис. 5 показано влияние водоцементного отношения на прочность бетона при растяжении для смесей обоих типов А и Б с учетом различного содержания бетонного щебня в составе крупного заполнителя. По мере увеличения доли бетонного щебня прочность бетона при растяжении для смесей типа Б увеличивалась по сравнению с прочностью бетона из природного заполнителя.

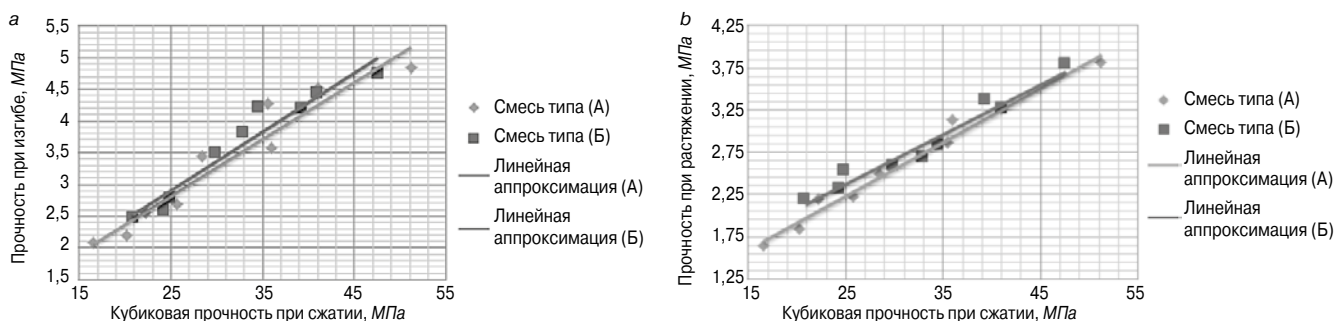


Рис. 6. Зависимости параметров прочности бетона при изгибе (а) и растяжении (б) от его кубиковой прочности в возрасте 28 сут  
 Fig. 6. Dependences of concrete strength parameters under bending (a) and tension (b) on its cubic strength at the age of 28 days

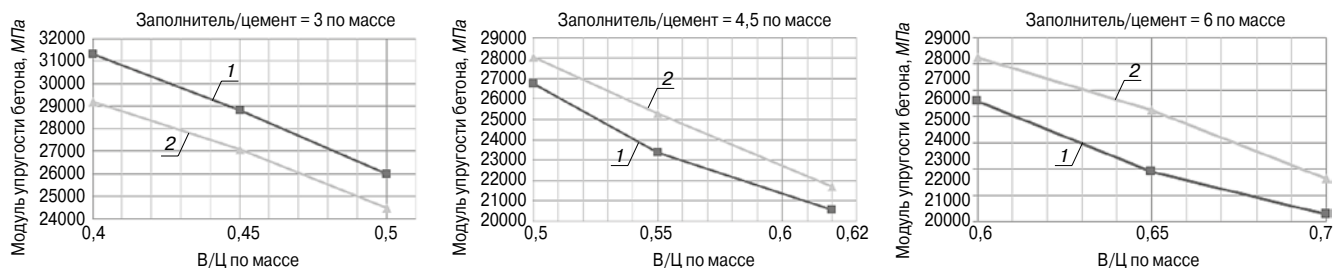


Рис. 7. Зависимости модуля упругости от показателей водоцементного отношения (В/Ц) для двух типов бетонных смесей с различным содержанием крупного заполнителя: 1 – бетон типа А; 2 – бетон типа Б  
 Fig. 7. The dependence of the modulus of elasticity on the performance of water-cement ratio (W/C) for two types of concrete mixtures with different content of coarse aggregate: 1 – concrete type A; 2 – concrete type B

На рис. 6 представлены зависимости параметров прочности при изгибе и растяжении от кубиковой прочности для бетонных образцов из смесей типов А и Б. При этом смеси типа Б демонстрируют более высокую прочность при изгибе и растяжении, чем смеси типа А. Возможное объяснение этого явления заключается в том, что зерна заполнителя из бетонного щебня имеют более грубую текстуру поверхности и большую абсорбционную способность, чем природный заполнитель [13, 14].

Модуль упругости бетона гораздо более чувствителен к количеству и характеру заполнителей по сравнению с другими параметрами. Результаты экспериментального определения модуля упругости бетона в возрасте 28 сут представлены в табл. 9, где каждое табличное значение исследуемого параметра представляет собой среднее из трех испытаний.

Из табл. 9 видно, что смеси типа А имеют больший модуль упругости, чем аналогичные смеси типа Б при их составе Ц:П:З = 1:1:2. В большинстве случаев повышенное содержание бетонного щебня в составе крупного заполнителя в смесях типа Б увеличило модуль упругости по сравнению со смесями типа А.

Зависимость между модулем упругости и водоцементным отношением (В/Ц) для двух типов смесей представлена на рис. 7.

На рис. 8 показан график зависимости модуля упругости бетона от его прочности при сжатии. В диапазоне высокой прочности при сжатии смеси типа Б демонстрируют более низкий по величине модуль упругости, чем смеси типа А, а для средней и низкой прочности бетона прослеживается обратная тенденция.

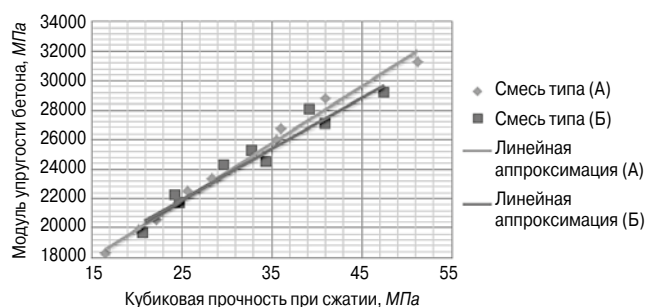


Рис. 8. Зависимости модуля упругости от кубиковой прочности бетона для двух типов бетонных смесей в возрасте 28 дней  
 Fig. 8. The dependence of the modulus of elasticity on the cubic strength of concrete for two types of concrete mixtures at the age of 28 days

Таблица 9  
 Table 9

Экспериментальные модули упругости бетона для смесей типов А и Б  
 Experimental moduli of elasticity of concrete for mixtures of types A and B

Смесь	Состав бетонной смеси		Модуль упругости бетона, МПа	
	Ц:П:З по массе компонентов	В/Ц по массе	Тип А	Тип Б
1	1:1:2	0,4	31300	29180
2		0,45	28800	27100
3		0,5	26000	24500
4	1:1,5:3	0,5	26750	28050
5		0,55	23350	25270
6		0,62	20550	21720
7	1:2:4	0,6	22560	24250
8		0,65	19890	22250
9		0,7	18270	19640



Таблица 10  
Table 10Прочность при сжатии дополнительных смесей, МПа  
Compressive strength of additional mixtures, MPa

Состав смеси Ц:П:З	Смесь типа М			Смесь типа Р			Смесь типа С		
	В/Ц по массе	$f_{cu}$ в возрасте 7 сут	$f_{cu}$ в возрасте 28 сут	В/Ц по массе	$f_{cu}$ в возрасте 7 сут	$f_{cu}$ в возрасте 28 сут	В/Ц по массе	$f_{cu}$ в возрасте 7 сут	$f_{cu}$ в возрасте 28 сут
1:1:2	0,45	32,4	43,39	0,45	34,79	45	0,45	39,34	48,12
1:1,5:3	0,55	26,3	34,95	0,55	32,26	38,95	0,6	27,83	35,59
1:2:4	0,65	17,57	26,3	0,65	22,43	30,67	0,7	16,54	28,1

С целью оценки влияния прочности дробленого бетона и количества замененного заполнителя на прочность при сжатии были подготовлены дополнительные смеси типов М, Р и С. Указанные смеси изготовили с использованием бетонного щебня, полученного из бетона прочностью 30–40 МПа с содержанием в составе крупного заполнителя 30, 50 и 100% соответственно.

Табл. 10 иллюстрирует, что при одинаковых составах компонентов Ц:П:З прочность при сжатии бетонов с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня возрастает по мере увеличения его доли в смеси. Объясняется это тем, что бетон, изготовленный со значительной долей бетонного щебня, имеет более высокую прочность сцепления крупного заполнителя с окружающей цементной матрицей. Это связано с неровной текстурой поверхности такого заполнителя и с наличием остатков затвердевшего цемента на его поверхности.

Каждое значение прочности в табл. 10 представляет собой среднее из трех испытаний.

Из табл. 6 и 10 следует, что прочность при сжатии бетонных образцов, изготовленных с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня, зависит от прочности исходного бетона, о чем свидетельствует сравнительный анализ результатов для смесей типов Б (табл. 6) и М (табл. 10). Также из табл. 10 видно, что смеси типа С, которые были изготовлены с добавлением дробленого бетонного щебня в объеме 100% крупного заполнителя и отношением В/Ц=0,45, показывают более высокую прочность при сжатии по сравнению с другими смесями с той же пропорцией компонентов. Тем не менее выигрыш в прочности недостаточно высок по сравнению со снижением удобоукладываемости. Чтобы получить необходимую прочность при сжатии и заданную удобоукладываемость, требуется больше цемента в смеси, содержащей значительную долю крупного заполнителя из бетонного щебня.

## Выводы

На основании экспериментальных исследований были определены необходимые параметры для изготовления железобетонных элементов с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня, полученного в процессе дробления бетонного лома из фраг-

ментов разрушенных зданий и сооружений. Эксперименты выявили необходимость регулирования количества цемента для получения бетона повышенной прочности в зависимости от содержания в его составе бетонного щебня.

Из испытаний бетонных образцов на сжатие выявлено, что применение в качестве крупного заполнителя щебня из бетонов с кубиковой прочностью 30–40 МПа приводит к более высоким показателям прочности (на сжатие и растяжение) по сравнению с использованием аналогичного количества дробленого щебня из менее прочных бетонов (20–30 МПа).

Было также установлено, что даже полная замена природного крупного заполнителя на бетонный щебень приводит к получению бетонов с деформативно-прочностными характеристиками, которые соответствуют всем необходимым требованиям для традиционных бетонов.

## Список литературы / References

1. Gholamreza Fathifazl, A. Razaqpur, O. Isgor, Abdelgadir Abbas, Benoit Fournier, Foo Simon. Creep and drying shrinkage characteristics of concrete produced with recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Composites*. 2011. Vol. 33. Iss. 10, pp. 1026–1037 <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.08.004>
2. Sagoe-Crentsil K.K., Brown T., Taylor A.H. Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*. 2001. Vol. 31. Iss. 5, pp. 707–712. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00476-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00476-2)
3. Domingo-Cabo A., Lazaro C., Lopez-Gayarre F., Serrano-Lopez M.A., Serna P., Castano-Tabares J.O. Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*. 2009. Vol. 23, pp. 2545–2553. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.02.018
4. Chakradhara Rao M., Bhattacharyya S.K., Barai S.V. Influence of field recycled coarse aggregate on properties of concrete. *Materials and Structures*. 2011. Vol. 44, pp. 205–220. <https://doi.org/10.1617/s11527-010-9620-x>

5. Ryu J.S. Improvement on strength and impermeability of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Journal of Materials Science Letters*. 2002. Vol. 21 (20), pp. 1565–1567. DOI: 10.1023/A:1020349011716
6. Tam V.W., Gao X.F., Tam C.M. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35. Iss. 6, pp. 1195–1203. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.025>
7. Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state-of-the-art report developments 1945–1985. *Materials and Structures*. 1986. Vol. 19, pp. 201–246. <https://doi.org/10.1007/BF02472036>
8. Kwan W.H., Ramli M., Kam K.J., Sulieman M.Z. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties, *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 26. Iss. 1, pp. 565–573. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.059>
9. Salau M.A., Ikponmwosa E.E., Adeyemo A.O. Shrinkage deformation of concrete containing recycled coarse aggregate. *British Journal of Applied Science & Technology*. 2014. Vol. 4 (12), pp. 1791–1807. <https://doi.org/10.1007/s40069-013-0032-5>
10. McNeil K., Kang T. Recycled concrete aggregates: a review. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2013. Vol. 7, pp. 61–69.
11. Kisku N. et al., A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 131, pp. 721–740. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.029>
12. Дворкин О.Л., Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: Учебно-справочное пособие. М.: Феникс, 2007. 368 с.
12. Dvorkin O.L., Dvorkin L.I. Stroitel'nyye materialy iz otkhodov promyshlennosti: Uchebno-spravochnoye posobiye [Building materials from industrial wastes: Study guide]. Moscow: Feniks. 2007. 368 p.
13. Ефименко А.З., Шумков А.И., Шевченко А.В. Оптимизация составов бетонных смесей на заполнителе из дробленого бетона и железобетона сносимых зданий. *Бетон и железобетон – пути развития: Научные труды 2-й Всероссийской (международной) конференции по бетону и железобетону: В 5 т. Т. 3. М., 2005. С. 264–267.*
13. Efimenko A.Z., Shumkov A.I., Shevchenko A.V. Optimization of concrete mixes based on crushed concrete and reinforced concrete aggregate of demolished buildings. *Concrete and reinforced concrete – ways of development: Proceedings of the 2nd All-Russian (international) conference on concrete and reinforced concrete*. Vol. 3. Moscow. 2005, pp. 264–267. (In Russian).
14. Пуляев С.М., Каддо М.Б., Пуляев И.С. Исследование процесса раннего структурообразования бетона на щебне из бетонного лома // *Вестник МГСУ*. 2012. № 1. С. 68–71.
14. Pulyaev S.M., Kaddo M.B., Pulyaev I.S. Investigation of the process of early structure formation of concrete on crushed stone from concrete scrap. *Vestnik MGSU*. 2012. No. 1, pp. 68–71. (In Russian).

BIM

ФОРУМ

Новые даты проведения **8-9 декабря** 2020 года

Amber Plaza, Москва, ▲ Новослободская

## ВАШ ДОСТУП В МИР ЦИФРОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

- ✓ Более 50 мероприятий деловой программы
- ✓ Только актуальные темы и кейсы
- ✓ 2000 специалистов отрасли



Генеральный партнер

КУПИТЬ БИЛЕТ

8 800 555 91 50

event@radidoma.ru  
www.bimforum.pro

Организатор  
**ради дома**  
bafactu groupe



УДК 625

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-785-10-31-37>

С.В. НОСОВ, д-р техн. наук (nosovsergej@mail.ru), Б.А. БОНДАРЕВ, д-р техн. наук (ialex-86@mail.ru),  
И.С. НОСОВ, магистрант (raf\_raf\_raf@mail.ru)

Липецкий государственный технический университет (398055, г. Липецк, ул. Московская, 30)

## Особенности технологии строительства дорожных одежд из провакумированной асфальтобетонной смеси

При изменении структурных свойств дорожно-строительных материалов должно производиться совершенствование технологий их уплотнения с выбором наилучших средств уплотнения и технологических режимов работы в конкретных условиях производства работ. Для провакумированной на асфальтобетонном заводе смеси, обладающей повышенными характеристиками водостойкости и морозостойкости, а также измененными реологическими параметрами, также необходимо определить технологические параметры применяемых средств уплотнения с учетом особенностей ее реологических характеристик. Разработана технология уплотнения провакумированной горячей асфальтобетонной смеси пневмоколесным катком с определением необходимого количества проходов по следу, скоростных режимов движения по проходам катка и величины давления воздуха в шинах катка. С применением перспективного реологического подхода имитационным моделированием исследована динамика накопления плотности слоя асфальтобетонной смеси по проходам катка, а также определен момент окончания работы пневмокатка и перевода работ по уплотнению на тяжелые гладковальцовые катки. Изменение реологических свойств провакумированной асфальтобетонной смеси способствует повышению эффективности ее уплотнения, снижая материальные затраты, повышая производительность средств уплотнения при одновременном повышении качества и долговечности дорожных асфальтобетонных покрытий.

**Ключевые слова:** горячая асфальтобетонная смесь, реологические свойства, водостойкость и морозостойкость асфальтобетона, дорожный каток, уплотнение.

**Для цитирования:** Носов С.В., Бондарев Б.А., Носов И.С. Особенности технологии строительства дорожных одежд из провакумированной асфальтобетонной смеси // *Строительные материалы*. 2020. № 10. С. 31–37.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-785-10-31-37>

S.V. NOSOV, Doctor of Sciences (Engineering) (nosovsergej@mail.ru), B.A. BONDAREV, Doctor of Sciences (Engineering) (ialex-86@mail.ru),  
I.S. NOSOV, Master student (raf\_raf\_raf@mail.ru)

Lipetsk State Technical University (30, Moscovskaya Street, Lipetsk, 398055, Russian Federation)

### Features of the Technology of Construction of Road Pavements from Vacuum-Treated Asphalt Concrete Mix

When changing the structural properties of road construction materials, their compaction technologies should be improved with the choice of the best compaction means and their technological modes of operation in specific conditions of work conduction. For a mixture evacuated at an asphalt concrete plant that has increased water and frost resistance characteristics, as well as changed rheological parameters, it is also necessary to determine the technological parameters of the compaction means used, taking into account the features of its rheological characteristics. The compaction technology of vacuum-treated hot asphalt-concrete mix by pneumatic wheel roller with the determination of the necessary number of passes on the trail, speed modes along the roller passages and the magnitude of the air pressure in the tires of the roller has been developed. Using a promising rheological approach, the dynamics of accumulation of the asphalt concrete mixture layer density along the roller passages was studied by simulation modeling, and the time when the pneumatic roller was finished and the compaction work was transferred to heavy smooth rollers was determined. Changing the rheological properties of the vacuum-treated asphalt mix increases the efficiency of its compaction, reducing material costs, increasing the productivity of compaction tools while improving the quality and durability of road asphalt pavements.

**Keywords:** hot asphalt-concrete mix, rheological properties, water and frost resistance of asphalt concrete, road roller, compaction.

**For citation:** Nosov S.V., Bondarev B.A., Nosov I.S. Features of the technology of construction of road pavements from vacuum-treated asphalt concrete mix. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 10, pp. 31–37. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-785-10-31-37>

Исследования [1, 2] по оценке повышения качества асфальтобетона, полученного из провакумированной асфальтобетонной смеси, выявили повышение водостойкости и морозостойкости асфальтобетона соответственно на 10–20% в среднем в зависимости от времени и степени вакуумирования горячей асфальтобетонной смеси при ее изготовлении в бетонно-смесительной установке. Исследования проводились на смеси марки 2 типа Б. Естественно, что подобные исследования необходимо продолжать и для других марок и типов асфальтобетонных смесей. Также необходимо проводить исследования по оценке их реологических характеристик, раскрывая закономерности для определения напряженно-деформи-

рованного состояния уплотняемых слоев смеси, однако это требует разработки и применения соответствующих методов и устройств в виде разнообразных стендов, приборов и установок. Для проведения подобных исследований следует создавать региональные дорожные научно-исследовательские институты или хотя бы дорожные научно-исследовательские лаборатории.

В ранее проведенных работах [3–9] был подтвержден положительный эффект вакуумирования горячей асфальтобетонной смеси в процессе ее укладки с использованием дорожных катков, оснащенных вакуумными устройствами. Однако до сих пор такие катки не выпускаются заводами- изгото-

вителями, в связи с чем предложенная технология, к большому сожалению, не может быть реализована на пути повышения качества и долговечности автомобильных дорог.

Следует заметить, что в силу сложившихся обстоятельств исследования по вакуумированию горячих асфальтобетонных смесей в период с конца 80-х и по начало 2000-х гг. практически не проводились, в связи с чем отсутствуют соответствующие публикации.

Необходимо рассмотреть возможность разработки и применения новой технологии строительства дорожных одежд из провакуумированной горячей асфальтобетонной смеси в процессе ее изготовления на АБЗ с применением традиционных дорожных катков, используемых в дорожно-строительных организациях.

Как известно, для строительства дорожных одежд из горячих асфальтобетонных смесей широко применяются различные асфальтовые катки: гладковальцовые, пневмоколесные, вибрационные и комбинированные. Имеются научные разработки и по другим каткам, не нашедшим пока широкого применения: с перфорированными вальцами, с ребристыми вальцами, с винтовой поверхностью гладких вальцов; многофункциональный каток; каток с вакуумным устройством и т. д. Для каждого типа катка должна применяться своя технология уплотнения асфальтобетонной смеси в зависимости от условий производства работ и физико-механических свойств уплотняемой смеси. В последнее время большое внимание уделяется исследованию реологических свойств уплотняемых материалов [10–17], влияние которых на качество уплотнения весьма значимо.

В данной статье представлена разработка технологии уплотнения провакуумированной горячей асфальтобетонной смеси марки 2 типа Б пневмоколесным катком на основе отмеченного выше реологического подхода.

#### **Особенности изменения реологических свойств провакуумированной асфальтобетонной смеси**

Параметры экспоненциально-степенной функции скорости ползучести слоев провакуумированных и обычных горячих асфальтобетонных смесей определяются из выражения [10, 12, 18]:

$$K(t) = e^{-\beta \cdot t} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[A \Gamma(\alpha)]^n \cdot t^{n\alpha-1}}{\Gamma(n\alpha)}, \quad (1)$$

где  $A$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$  – параметры функции скорости ползучести,  $\Gamma(\alpha)$  – гамма-функция Эйлера.

Проведенные исследования [2] показали, что для слоев провакуумированной горячей асфальтобетонной смеси марки 2 типа Б они имеют значения:  $A=0,971$ ;  $\beta=16$ ;  $\alpha=0,35$ . Для слоев невакуумированной горячей асфальтобетонной смеси марки 2 типа Б значения следующие:  $A=1,525$ ;  $\beta=25$ ;  $\alpha=0,4$ . Согласно общей тенденции развития реологии до-

рожно-строительных материалов [16] следует, что интенсивность уплотнения слоя провакуумированной асфальтобетонной смеси выше, чем у слоя обычной смеси, и это определяется уменьшением параметра  $\alpha$ .

Как показали предшествующие исследования [9], физическая картина вакуумирования асфальтобетонной смеси проявляется в том, что компоненты битума (смолы, масла и асфальтены) после снятия разряжения воздуха под действием атмосферного давления проникают в глубь каменного материала по его порам и трещинам, склеивая его и не позволяя в дальнейшем проникать в глубь влаги, повышая при этом водостойкость и морозостойкость асфальтобетона. Такая тенденция в повышении качества асфальтобетона отмечалась еще в работе [19], при этом отмечался дополнительный факт повышенной обволакиваемости частиц каменного материала свободным битумом, переходящим в структурированный, снижая при этом коэффициент внутреннего трения и сцепление асфальтобетонной смеси. Это проявляет положительную динамику в повышении эффективности ее уплотнения и способствует интенсификации уплотнения провакуумированной асфальтобетонной смеси, вызывая потребность в разработке соответствующей технологии уплотнения.

#### **Разработка технологии уплотнения провакуумированной асфальтобетонной смеси пневмоколесным катком**

Для достижения требуемой плотности асфальтобетона с улучшенной структурой, полученного из провакуумированной горячей асфальтобетонной смеси в бункере-накопителе асфальтобетонной установки, требуется корректировка параметров и режимов работы средств уплотнения в связи с изменившимися реологическими свойствами асфальтобетонной смеси.

В зависимости от условий внешней среды (температуры воздуха и скорости ветра), конструктивных параметров средств уплотнения (массы катка, его линейного давления, радиуса вальцов и др.), параметров состояния слоя асфальтобетонной смеси (толщины слоя, температуры и текущей плотности смеси) технологические параметры процесса уплотнения (скорость катка, параметры вибрации вальцов и давление воздуха в шинах пневмокатка по проходам катка, количество проходов катка по следу) должны изменяться определенным образом в связи с постоянным изменением физико-механических (в том числе реологических) свойств уплотняемого слоя смеси. При этом максимальные контактные давления под вальцами катка, которые изменяются от прохода к проходу, не должны превышать предела прочности уплотняемого слоя, который также изменяется по определяемым закономерностям в зависимости от параметров состояния уплотняемого слоя.



Требования к прочности, жесткости, сдвигоустойчивости и долговечности дорожных асфальтобетонных покрытий автодорог постоянно растут для обеспечения необходимого качества и долговечности дорог. Как показывает практика дорожного строительства, различные пневмокотки находят все большее применение в силу специфики их работы. Здесь как в продольном, так и в поперечном направлениях формируется более однородная и мелкопористая структура асфальтобетона, устойчивая к трещинообразованию и сдвигу.

На основе применения имитационного моделирования в данной статье приводятся результаты разработки технологии процесса уплотнения провакумированной асфальтобетонной смеси марки 2 типа Б пневмоколесным катком АМКОДОР-6641. При использовании пневмошинных катков непосредственно за асфальтоукладчиком, перед двухвальцовыми катками особенно хорошо выявляются и ликвидируются неуплотненные зоны в асфальтобетонном слое, проявляющиеся при температурной и структурной сегрегации.

Однако место работы пневмокотка в технологической операции укатки слоя смеси может быть различным. На это влияет его масса, номенклатура катков в бригаде, параметры захватки и внешние условия окружающей среды при уплотнении смеси. В зависимости от метода организации работ (от ширины укладываемого слоя), европейской или американских технологий укладки асфальтобетонной смеси в слой дорожного покрытия технология производства рассматриваемых работ также может быть различной.

Большая вариативность технологических схем работы пневмокотка требует проведения оптимизационных процедур с применением ЭВМ. В рассматриваемом случае исходными данными для расчетов являлись: толщина слоя смеси – 8 см; ширина 3,5 м и длина 100 м захватки уплотняемого слоя; начальная плотность смеси – 2,08 г/см<sup>3</sup> (коэффициент уплотнения  $K_y=0,867$ ); температура смеси после асфальтоукладчика – 120°C; температура наружного воздуха – 20–21°C. Давление воздуха в шинах пневмокотка АМКОДОР-6641 имеет возможность регулирования в пределах 0,3–0,8 МПа (3–8 атм).

В зависимости от толщины слоя и температуры наружного воздуха изменение температуры

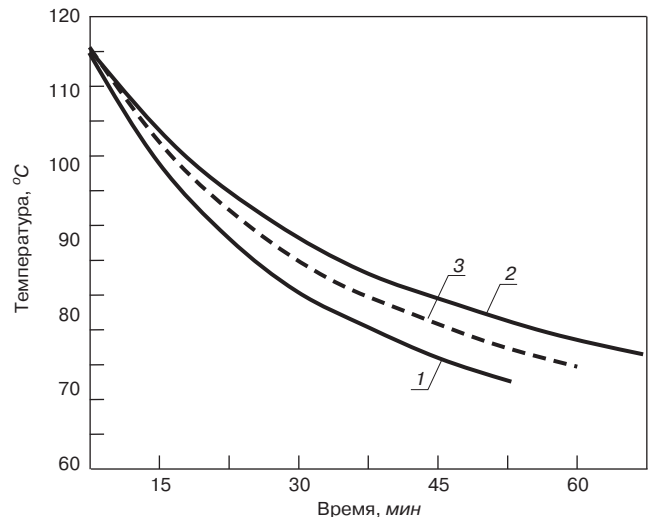


Рис. 1. Изменение температуры слоя смеси во времени в зависимости от толщины слоя  $h_{сл}$  и температуры наружного воздуха  $T_{н.в.}$ : 1 –  $h_{сл}=6$  см,  $T_{н.в.}=20^\circ\text{C}$ ; 2 –  $h_{сл}=10$  см,  $T_{н.в.}=23^\circ\text{C}$ ; 3 –  $h_{сл}=8$  см,  $T_{н.в.}=21^\circ\text{C}$   
 Fig. 1. Change in the temperature of the mixture layer over time depending on the thickness of the layer  $h_{layer}$  and the temperature of the outside air  $T_{outside\ air}$ : 1 –  $h_{layer}=6$  cm,  $T_{outside\ air}=20^\circ\text{C}$ ; 2 –  $h_{layer}=10$  cm,  $T_{outside\ air}=23^\circ\text{C}$ ; 3 –  $h_{layer}=8$  cm,  $T_{outside\ air}=21^\circ\text{C}$

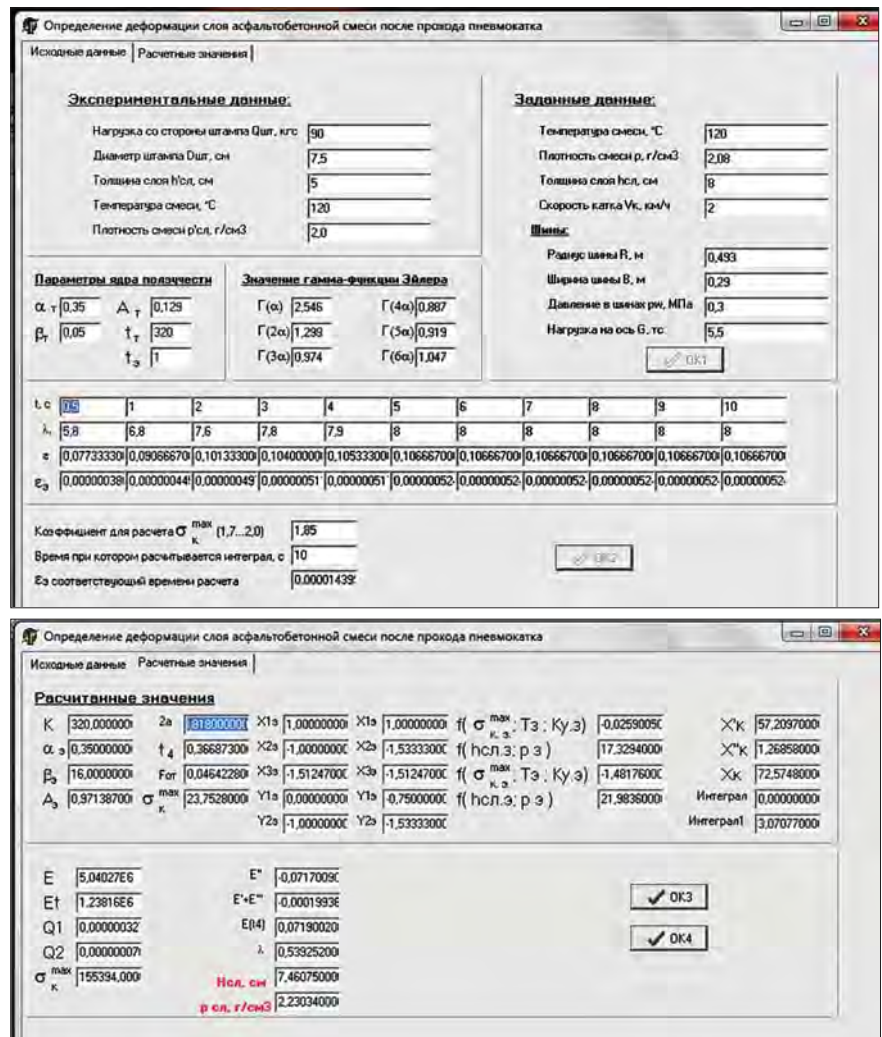


Рис. 2. Интерфейс программы расчета относительной деформации слоя провакумированной горячей асфальтобетонной смеси: а – ввод исходных данных; б – вывод расчетных значений  
 Fig. 2. The interface of the program for calculating the relative deformation of the layer of the evacuated hot asphalt concrete mixture: a – input of initial data; b – output of calculated values

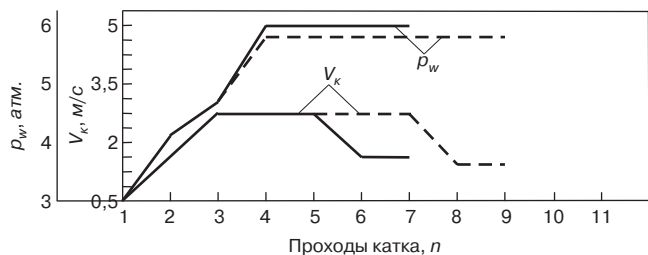


Рис. 3. Изменение режимов работы пневмокатка АМКОДОР-6641 по проходам: — провакуумированная смесь; - - - невакуумированная смесь

Fig. 3. Changing the operating modes of the AMKODOR-6641 pneumatic roller along the aisles: — evacuated mixture; - - - unvacuum mixture

асфальтобетонной смеси во времени представлено на рис. 1 согласно данным [4]. Расчеты показали, что при средней скорости движения катка на первых проходах около 2–3 км/ч (0,56–0,83 м/с) повторные проходы по следу будут производиться через каждые 5,4–8,9 мин, а в среднем через каждые 7,5 мин. Это позволило определить температуру смеси в слое на последующих проходах пневмокатка.

По специально разработанной программе на ЭВМ [20], учитывающей разработанный реологический подход к оценке напряженно-деформированного состояния слоя смеси [10, 11], полученные значения параметров функции скорости ползучести и уравнение регрессии по развитию деформации слоя провакуумированной асфальтобетонной смеси [2], после каждого прохода пневмокатка определялась плотность асфальтобетонной смеси в уложенном слое. При условии максимально достигаемой плотности смеси за один проход катка по следу, исходя из установленных начальных значений параметров смеси и катка на каждом проходе, а также технологических режимов укатки пневмокатком проводились многократные пересчеты (имитационное моделирование) с определением конкретной скорости движения катка и давления воздуха в шинах катка. В итоге определялось минимально допустимое количество проходов катка по следу. На рис. 2 представлен интерфейс программы в среде Delphi для расчета относительной деформации слоя провакуумированной горячей асфальтобетонной смеси при ее уплотнении пневмокатком АМКОДОР-6641.

При расчетах учитывалось, что при шахматном расположении колес катка АМКОДОР-6641 на передней и задней осях (три на передней и четыре на задней осях катка) за один проход катка осуществляется однократное воздействие колесом на уплотняемый слой провакуумированной асфальтобетонной смеси.

### Результаты имитационного моделирования

Результаты расчета по разработке технологии уплотнения пневмокатком АМКОДОР-6641 провакуумированной мелкозернистой асфальтобетонной смеси марки 2, типа Б с начальной толщиной уложенного слоя 8 см, при начальной температуре уплотнения 120°C, температуре окружающего возду-

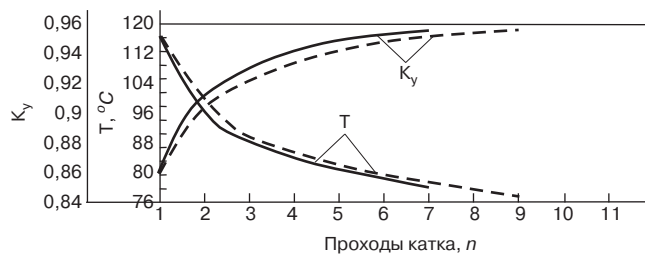


Рис. 4. Изменение коэффициента уплотнения  $K_c$  и температуры  $T$  асфальтобетонной смеси по проходам катка АМКОДОР-6641: — провакуумированная смесь; - - - невакуумированная смесь

Fig. 4. Change of the compaction coefficient  $K_{seals}$  and temperature  $T$  of the asphalt concrete mixture along the passes of the AMKODOR-6641 roller: — evacuated mixture; - - - unvacuum mixture

ха 20°C, ширине 3,5 м и длине 100 м захватки уплотняемого слоя представлены на рис. 3 и 4.

По рис. 3 видно, что скорость движения катка на первых проходах от прохода к проходу катка плавно увеличивается. На последних двух проходах вследствие увеличения плотности и снижения температуры повышается модуль деформации слоя асфальтобетонной смеси, что приводит к уменьшению площади пятна контакта пневматического колеса катка с уплотняемым слоем и, как следствие, к увеличению контактных напряжений.

Однако последние нужно было уменьшить, не превышая предела прочности смеси, для чего необходимо снизить скорость катка и увеличить при этом площадь пятна контакта пневматического колеса катка с уплотняемым слоем.

Из рис. 4 видно, что для надлежащего уплотнения провакуумированной асфальтобетонной смеси марки 2 типа Б катку АМКОДОР-6641 необходимо осуществить 6–7 проходов по следу, а при уплотнении невакуумированной асфальтобетонной смеси необходимо осуществить 8–9 проходов по следу. Это снижает производительность катка, не говоря о снижении качества асфальтобетона [1, 2]. Производительность бригады катков по уплотнению провакуумированной асфальтобетонной смеси повышается на 22–25% с обеспечением определенного экономического эффекта при одновременном повышении качества и долговечности дорожного покрытия.

Для наглядного сравнения с рассматриваемой технологией на рис. 3 и 4 пунктирными линиями указано изменение параметров смеси и катка, а также технологических режимов укатки пневмокатком АМКОДОР-6641 при уплотнении невакуумированной асфальтобетонной смеси марки 2 типа Б.

Как видно из рис. 4, приращение коэффициента уплотнения  $K_c$  становится очень малым на шестом проходе по провакуумированной смеси и на восьмом проходе по невакуумированной смеси. Это указывает на низкую эффективность уплотнения асфальтобетонной смеси на последующих проходах пневмокатка, и далее следует применять более тяжелые катки. Процесс уплотнения пневмокатком АМКОДОР-6641 провакуумированной смеси длится 45 мин, а процесс уплотнения невакуумированной



смеси – 60 мин. При этом со 120°C в первом случае смесь остывает до 77,5°C, а во втором – до температуры 72°C.

На завершающей стадии уплотнения асфальтобетонной смеси, начиная с коэффициента уплотнения 0,96 и далее, в основном следует применять гладковальцовые катки, которые обеспечивают уплотнение асфальтобетонной смеси до требуемого значения коэффициента уплотнения  $K_y=0,98–0,99$ , а также выглаживают поверхность дорожного покрытия до требуемой ровности.

По рекомендациям многих исследователей [21–23] такие катки должны обладать массой 12–13 т. При этом для обеспечения увеличения модуля деформации на завершающем этапе уплотнения скорость их перемещения должна быть небольшой (порядка 0,5 м/с), когда увеличивается количество межмолекулярных связей и упрочняется структура асфальтобетона. Также по [10] не рекомендуется на последних проходах применять вибрационное уплотнение. Поэтому в предлагаемой технологии уплотнения провакуумированной асфальтобетонной смеси применение виброкатков также не рекомендуется.

#### Выводы

При учете всех основных параметров рассматриваемой системы: уплотняемого материала (включая

его реологические свойства), средств уплотнения (в первую очередь дорожных катков) и условий производства работ (метеорологических условий и др.) с применением ЭВМ имеется реальная возможность для каждой дорожной организации использования программных продуктов по определению технологических параметров имеющихся средств уплотнения в целях обеспечения высокого качества уплотнения и долговечности дорожных покрытий. Разработку этих программных продуктов могут осуществлять дорожные НИИ или региональные дорожные научно-исследовательские лаборатории.

Изменение параметров функций скоростей ползучести у провакуумированных асфальтобетонных смесей способствует интенсификации их уплотнения, вызывая потребность в разработке соответствующей технологии уплотнения.

Разработана технология уплотнения провакуумированной асфальтобетонной смеси марки 2 типа Б дорожным пневмоколесным катком АМКОДОР-6641, позволяющая снизить материальные затраты, повысить качество уплотнения и увеличить срок службы дорожных покрытий. Это служит примером для разработки эффективных технологий уплотнения различных дорожно-строительных материалов на основе использования перспективного реологического подхода.

#### Список литературы

1. Носов И.С., Носов С.В. Водостойкость и морозостойкость асфальтобетона из провакуумированной на последней стадии изготовления горячей асфальтобетонной смеси. *Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве. Материалы международной научно-практической конференции.* 3–4 октября 2019. Липецк. С. 92–95.
2. Рябова О.В., Носов И.С. Оценка физико-механических свойств асфальтобетона после вакуумирования горячей асфальтобетонной смеси при ее производстве // *Научный журнал строительства и архитектуры.* 2019. № 3 (55). С. 62–71.
3. Васильев А.А., Иванченко С.Н., Хархута Н.Я. Дорожный каток с пневмовакuumным балластным устройством // *Строительные и дорожные машины.* 1984. № 12. С. 17–18.
4. Васильев А.А., Ложечко В.П., Хархута Н.Я., Шестопалов А.А. Уплотнение асфальтобетона с одновременным вакуумированием // *Автомобильные дороги.* 1980. № 8. С. 17–18.
5. Патент РФ 1832784. *Дорожный каток* / Носов С.В., Носов В.В. Заявл. 16.10.89. Опубл. 16.06.93. Бюл. № 29.
6. Патент РФ 2011728. *Дорожный каток* / Носов С.В., Носов В.В., Ложечко В.П. Заявл. 03.06.91. Опубл. 30.04.94. Бюл. № 8.
7. Шестопалов А.А. Уплотнение асфальтобетонной смеси катком с пневмовакuumным балластным


#### References

1. Nosov I.S., Nosov S.V. Water resistance and frost resistance of asphalt concrete from the hot asphalt concrete mixture evacuated at the last stage of production. *Effective designs, materials and technologies in construction. Materials of the international scientific and practical conference.* October 3–4, 2019. Lipetsk. 2019, pp. 92–95. (In Russian).
2. Ryabova O.V., Nosov I.S. Evaluation of the physical and mechanical properties of asphalt concrete after evacuation of hot asphalt concrete mixture during its production. *Nauchnyy zhurnal stroitel'stva i arkhitektury.* 2019. No. 3 (55), pp. 62–71. (In Russian).
3. Vasiliev A.A., Ivanchenko S.N., Kharkhuta N.Ya. Road roller with pneumatic vacuum ballast device. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny.* 1984. No. 12, pp. 17–18. (In Russian).
4. Vasiliev A.A., Lozhechko V.P., Kharkhuta N.Ya., Shestopalov A.A. Compaction of asphalt concrete with simultaneous evacuation. *Avtomobil'nyye dorogi.* 1980. No. 8. pp. 17–18. (In Russian).
5. Patent RF 1832784. *Dorozhnyy katok* [Road roller]. Nosov S.V., Nosov V.V. Declared 10.16.89. Published 06.16.93. Bulletin No. 29. (In Russian).
6. Patent RF 2011728. *Dorozhnyy katok* [Road roller]. Nosov S.V., Nosov V.V., Lozhechko V.P. Declared 03.06.91. Published 04.30.94. Bulletin No. 8. (In Russian).
7. Shestopalov A.A. Compaction of asphalt concrete mixture with a roller with pneumatic vacuum ballast

- устройством // *Автомобильные дороги*. 1980. № 1. С. 16–18.
8. Шестопалов А.А., Иванченко С.Н., Носов С.В. Влияние параметров катков и температуры на уплотняемость асфальтобетонных смесей укаткой с вакуумированием. *Рабочие процессы и динамика машин и механизмов для разработки, уплотнения грунтов и вибрационного формования изделий*. Ярославль, 1986. С. 57–61.
  9. Шестопалов А.А., Иванченко С.Н. Влияние температуры асфальтобетонной смеси на эффективность уплотнения ее укаткой с вакуумированием // *Известия вузов. Строительство и архитектура*. 1985. № 11. С. 112–116.
  10. Носов С.В., Гончарова М.А. Методология совершенствования технологий уплотнения дорожно-строительных материалов: Монография. Липецк: ЛГТУ, 2015. 166 с.
  11. Носов С.В. Разработка технологий уплотнения дорожных асфальтобетонных смесей и грунтов на основе развития их реологии. Дисс. ... д-ра техн. наук. Воронеж, 2013. 366 с.
  12. Подольский Вл.П., Рябова О.В., Носов С.В. Развитие реологии дорожно-строительных материалов на пути совершенствования технологий их уплотнения // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2011. Вып. 3 (23). С. 99–108.
  13. Nosov S.V. Generalized dynamic model of the interaction of compactors with road construction materials. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2017. No. 2 (34), pp. 35–44.
  14. Nosov S.V. Determination of rational contact pressure under a roller when compacting asphalt concrete mixes. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2017. No. 2 (34), pp. 45–53.
  15. Nosov S., Kuzmichev V., Repin S., Maksimov S. Methodology of ensuring road traffic safety with respect to road-building materials compaction efficiency factor. *Transportation Research Procedia. Part of special issue: 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in large cities»*. 2017, Vol. 20, pp. 450–454. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.073>
  16. Nosov S.V. Modeling the evolution of deformations and stresses in road-building materials based on rheological approach. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2018. No. 4 (40), pp. 61–72. <http://vestnikvgasu.wmsite.ru/ftpgetfile.php?id=681>
  17. Podolsky V.I.P., Ryabova O.V., Nosov S.V. Development of rheology of road-building materials for perfection of their compaction technology. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*. 2012. No. 2 (14), pp. 69–81.
  18. Koltunov M.A. Polzuchest' i relaksatsiya [Creep and Relaxation]. Moscow: Vysshaya Shkola, 1976. 278 p.
  8. Shestopalov A.A., Ivanchenko S.N., Nosov S.V. Influence of roller parameters and temperature on the compaction of asphalt-concrete mixtures by rolling with vacuuming. *Working processes and dynamics of machines and mechanisms for development, soil compaction and vibration molding of products*. Yaroslavl. 1986, pp. 57–61. (In Russian).
  9. Shestopalov A.A., Ivanchenko S.N. Influence of the temperature of asphalt concrete mixture on the efficiency of its compaction by rolling with vacuuming. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1985. No. 11, pp. 112–116. (In Russian).
  10. Nosov S.V., Goncharova M.A. Metodologiya sovshenstvovaniya tekhnologiy uplotneniya dorozhno-stroitel'nykh materialov: monografiya [Methodology for improving compaction technologies for road-building materials: monograph]. Lipetsk: LSTU. 2015. 166 p.
  11. Nosov S.V. Development of compaction technologies for road asphalt-concrete mixtures and soils based on the development of their rheology. *Doct. Diss. (Engineering)*. Voronezh. 2013. 366 p. (In Russian).
  12. Podolsky, V.I.P., Ryabova O.V., Nosov S.V. The development of the rheology of road-building materials on the way of improving the technologies of their compaction. *Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture*. 2011. Iss. 3 (23), pp. 99–108. (In Russian).
  13. Nosov S.V. Generalized dynamic model of the interaction of compactors with road construction materials. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2017. No. 2 (34), pp. 35–44.
  14. Nosov S.V. Determination of rational contact pressure under a roller when compacting asphalt concrete mixes. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2017. No. 2 (34), pp. 45–53.
  15. Nosov S., Kuzmichev V., Repin S., Maksimov S. Methodology of ensuring road traffic safety with respect to road-building materials compaction efficiency factor. *Transportation Research Procedia. Part of special issue: 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in large cities»*. 2017, Vol. 20, pp. 450–454. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.073>
  16. Nosov S.V. Modeling the evolution of deformations and stresses in road-building materials based on rheological approach. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2018. No. 4 (40), pp. 61–72.
  17. Podolsky V.I.P., Ryabova O.V., Nosov S.V. Development of rheology of road-building materials for perfection of their compaction technology. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*. 2012. No. 2 (14), pp. 69–81.
  18. Koltunov M.A. Polzuchest' i relaksatsiya [Creep and Relaxation]. Moscow: Vysshaya Shkola, 1976. 278 p.




18. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация. М.: Высшая школа, 1976. 278 с.
19. Гезенцевей Л.Б., Горелышев Н.В., Богуславский А.М., Королев И.В. Дорожный асфальтобетон. М.: Транспорт, 1985. 350 с.
20. Носов С.В., Носов И.С. Разработка программы расчета относительной деформации слоя провакуумированной асфальтобетонной смеси при укатке пневмокатком. *Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве. Материалы междунар. науч.-практ. конф.* 3–4 октября 2019. Липецк. С. 96–101.
21. Хархута Н.Я., Капустин М.И., Семенов В.П., Эвентов И.М. Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет. Л.: Машиностроение, 1976. 472 с.
22. Зубков А.Ф. Технология устройства покрытий из горячих асфальтобетонных смесей с учетом температурных режимов: Монография. Тамбов, 2006. 152 с.
23. Васильев А.П., Марышев Б.С., Силкин В.В. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. 1. М.: Информавтор, 2005. 654 с.
19. Gezentsvey L.B., Gorelyshev N.V., Boguslavsky A.M., Korolev I.V. Dorozhnyy asfal'tobeton [Road asphalt concrete]. Moscow: Transport, 1985. 350 p.
20. Nosov S.V., Nosov I.S. Development of a program for calculating the relative deformation of the layer of the evacuated asphalt concrete mixture during rolling with a pneumatic roller. *Effective structures, materials and technologies in construction. Materials of the international scientific-practical conference.* October 3–4, 2019. Lipetsk. 2019, pp. 96–101.
21. Kharkhuta N.Ya., Kapustin M.I., Semenov V.P., Eventov I.M. Dorozhnyye mashiny. Teoriya, konstruktsiya i raschet [Road cars. Theory, design and calculation]. L.: Mashinostroenie, 1976. 472 p.
22. Zubkov A.F. Tekhnologiya ustroystva pokrytiy iz goryachikh asfal'tobetonnykh smesey s uchetom temperaturnykh rezhimov: monografiya [Technology of pavements from hot asphalt concrete mixtures taking into account temperature conditions: monograph]. Tambov, 2006. 152 p.
23. Vasiliev A.P., Maryshev B.S., Silkin V.V. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya avtomobil'nykh dorog: Spravochnaya entsiklopediya dorozhnika (SED) [Construction and reconstruction of highways: Reference road builder encyclopedia (SED)]. Vol. 1. Moscow: Informavtodor, 2005. 654 p.



## XV Международный симпозиум по реологии грунтов

### «Теория и практика фундаментостроения»



г. Казань

2–4 июня 2021 г.

**Тематика XV Международного симпозиума по реологии грунтов:**

<ul style="list-style-type: none"> <li>– Теория и реологические модели грунтов</li> <li>– Экспериментальная реология грунтов</li> <li>– Теория и расчетные модели грунтов, опыт решения геотехнических задач</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Экспериментальные исследования геотехнических систем</li> <li>– Аналитические решения на основе реологических моделей</li> <li>– Численное моделирование НДС массивов на основе реологических моделей</li> </ul>
---	---

**Организаторы симпозиума:**  
 Российское общество по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГГиФ)  
 Казанский государственный архитектурно-строительный университет  
 Министерство строительства архитектуры и жилищно-коммунальных хозяйств Республики Татарстан

**Организационный комитет симпозиума:**  
 Председатель:  
**Р.К. Низамов** – ректор КГАСУ д.т.н., профессор  
 Заместители председателя:  
**И.Т. Мирсаяпов** – зав. кафедрой ОФДСиИГ КГАСУ д.т.н., профессор  
**З.Г. Тер-Мартirosян** – профессор кафедры геотехники НИУ МГСУ д.т.н., профессор

---

**Информационные спонсоры**

Научно-технический журнал «Основания, фундаменты и механика грунтов»  
 Журнал «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»  
 Журналы «Жилищное строительство», «Строительные материалы»<sup>®</sup>, «Бетон и железобетон»

---

**Секретариат:** И.В. Королева – КГАСУ, г. Казань; Д.Д. Сабирзянов – КГАСУ, г. Казань

**Адрес секретариата**  
 420043 г. Казань ул. Зелёная, 1, КГАСУ, каф. ОФДСиИГ  
 Тел. 8-095-170-27-67 (Г.К. Фурсова)  
 Тел. 8-843-510-47-15 (И.В. Королева, Д.Д. Сабирзянов)  
 Факс: 8-843-238-79-72, e-mail: mirsayapov1@mail.ru

Для регистрации в качестве участника XV Международного симпозиума по реологии грунтов обращайтесь по электронному адресу: e-mail: [reologiya@mail.ru](mailto:reologiya@mail.ru) или по факсу: **+7-843-238-79-72**

С.Ю. АНДРОНОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (atomic08@yandex.ru); Ю.Э. ВАСИЛЬЕВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук; А.В. КОЧЕТКОВ<sup>3</sup>, д-р техн. наук (soni.81@mail.ru); В.И. АЛФЕРОВ<sup>4</sup>, канд. техн. наук, заместитель генерального директора (alferov-vrn@yandex.ru)

<sup>1</sup> Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А. (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77)

<sup>2</sup> Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) (125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64)

<sup>3</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)

<sup>4</sup> ФАУ «РОСДОРНИИ» (125493, г. Москва, ул. Смольная, 2)

## Способ равномерного введения фиброволокна в битумную суспензию для устройства пружинящих асфальтобетонных слоев

Проведено исследование способов равномерного распределения волокнистых материалов в асфальтовых с диспергированным битумом. Ключевым вопросом этого направления является технология введения в объем асфальтобетонной смеси армирующих элементов. В качестве армирующего материала рассматривается фибра из волокон полиакрилонитрила. Для достижения максимального армирующего эффекта для любых материалов, в том числе и асфальтовых, за счет введения коротких волокон и нитей необходимо их равномерное распределение в смесях-полуфабрикатах и в сформированном конструкционном материале. Установлена принципиальная возможность равномерного распределения армирующих элементов (в виде коротких волокон полиакрилонитриловой фибры) в объеме армируемых асфальтовых материалов на основе вязких диспергированных битумов. Разработан способ равномерного введения фиброволокна в битумную суспензию для устройства пружинящих асфальтобетонных слоев. Впервые получен материал из битумной суспензии, армированной полиакрилонитриловой фиброй, который в тонких слоях под действием изгибающих нагрузок не разрушается, а обратимо деформируется.

**Ключевые слова:** холодные асфальтобетонные смеси, диспергированный битум, испытание, пружинящие асфальтобетонные слои, фиброволокно, битумная суспензия.

Авторы выражают благодарность канд. техн. наук, доценту А.Ф. Иванову за консультации и помощь в проведении экспериментальных исследований.

**Для цитирования:** Андронов С.Ю., Васильев Ю.Э., Кочетков А.В., Алферов В.И. Способ равномерного введения фиброволокна в битумную суспензию для устройства пружинящих асфальтобетонных слоев // *Строительные материалы*. 2020. № 10. С. 38–43. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-785-10-38-43>

S.Yu. ANDRONOV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (atomic08@yandex.ru); Yu.E. VASIL'EV<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering);

A.V. KOCHETKOV<sup>3</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (soni.81@mail.ru);

V.I. ALFEROV<sup>4</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), Deputy General Director (alferov-vrn@yandex.ru)

<sup>1</sup> Saratov State Technical University named after Y.A. Gagarin (77, Politechnicheskaya Street, Saratov, 410054, Russian Federation)

<sup>2</sup> Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) (64, Leningradsky Avenue, Moscow, 125319, Russian Federation)

<sup>3</sup> Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Prospect, Perm, 614990, Russian Federation)

<sup>4</sup> "ROSDORNI" Federal autonomous institution (2, Smolnaya Street, Moscow, 125493, Russian Federation)

### Method for Uniform Introduction of Fiber into a Bitumen Suspension for Arranging Springing Asphalt Concrete Layers

Methods of uniform distribution of fibrous materials in asphalt materials with dispersed bitumen were studied. The key issue in this area is the technology of introducing reinforcing elements into the volume of asphalt concrete mix. Fiber from polyacrylonitrile fibers is considered as a reinforcing material. To achieve the maximum reinforcing effect for any materials, including asphalt, due to the introduction of short fibers and threads, their uniform distribution in semi-finished mixtures and in the formed structural material is necessary. The principal possibility of uniform distribution of reinforcing elements (in the form of short fibers of polyacrylonitrile fiber) in the volume of reinforced asphalt materials based on viscous dispersed bitumens is established. A method for the uniform introduction of fiber into the bitumen suspension for the arranging springing asphalt concrete layers has been developed. For the first time, a material from a bituminous suspension reinforced with polyacrylonitrile fiber, which is not destroyed in thin layers under the action of bending loads, but reversibly deformed, was obtained.

**Keywords:** cold asphalt concrete mixes, dispersed bitumen, testing, springing asphalt concrete layers, fiber, bitumen suspension.

The authors express their gratitude to A.F. Ivanov, Docent, Candidate of Sciences (Engineering) for advice and assistance in conducting experimental research.

**For citation:** Andronov S.Yu., Vasil'ev Yu.E., Kochetkov A.V., Alferov V.I. Method for uniform introduction of fiber into a bitumen suspension for arranging springing asphalt concrete layers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 10, pp. 38–43. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-785-10-38-43>

### Постановка проблемы в общем виде

В настоящее время специалисты в области строительных материалов проявляют растущий интерес к дисперсному их армированию. Проведено исследование способов равномерного распределения волокнистых материалов в асфальтовых с диспергированным битумом. Ключевым вопросом этого направле-

ния является технология введения в объем материала армирующих элементов. В этом качестве армирующего материала рассматривается фибра из волокон полиакрилонитрила [1].

Обязательной составляющей асфальтовых полуфабрикатов с вязким диспергированным битумом является вода. Представляется целесообразным рас-



пределить короткие волокна армирующего материала сначала в воде, а затем взвесить армирующих волокон подавать в мешалку на отдозированный минеральный материал.

Вопрос рационального содержания и введения армирующих элементов в асфальтовые материалы на основе вязкого диспергированного битума остается практически неисследованным [1–3].

#### Краткий анализ достижений и публикаций

В связи с необходимостью перехода битума из твердого агрегатного состояния в жидкое для его использования на месте производства работ битумная композиция в виде битумного материала в твердом или вязком состоянии требует применения специальных технологий и материалов [1–14].

Поиск научно-технической информации по теме исследования проводился с использованием сети Интернет и фондов областной научно-технической библиотеки г. Саратова и научно-технической библиотеки СГТУ им. Гагарина Ю.А.

Массив научно-технической информации включает ГОСТы, стандарты организаций, справочники, каталоги, книги, статьи, обзоры, рекламные материалы.

Патентные исследования проводились в отношении битумных композиций: в виде эмульсий, в виде суспензий, в виде твердых гранул.

При поиске информации были использованы ключевые слова: битумная композиция, эмульсия, суспензия, фибра.

На основе поисковых запросов по патентной информации исследована База данных РФ с 1993 г. и База данных РФ до 1993 г. Для анализа патентной ситуации отобраны патенты RU № 2192400, 2370364, 2385762, 2459845 и авторское свидетельство SU № 729233 и 11722.

При анализе базы данных Европейской патентной организации (espacenet.com) для анализа патентной ситуации были отобраны патенты WO № 2017109401, US № 5382348.

Рекомендации по содержанию фибры, приведенные в различных публикациях, требуют корректировки для материалов с диспергированным битумом на основе экспериментальных и теоретических исследований.

#### Постановка задачи

Для достижения максимального армирующего эффекта для любых материалов, в том числе и асфальтовых, за счет введения коротких волокон и нитей необходимо их равномерное распределение в смесях-полуфабрикатах и соответственно в сформированном конструкционном материале [4–8].

#### Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных результатов

Предварительно проведено исследование способов равномерного распределения волокнистых материалов в воде.

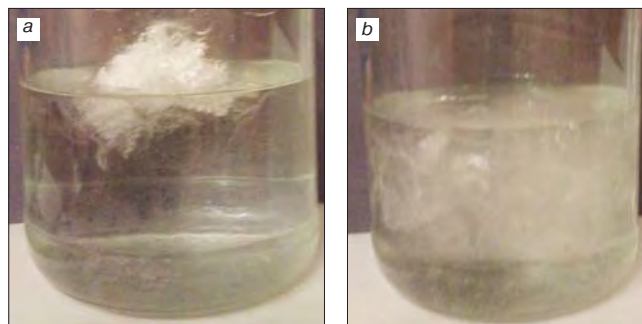


Рис. 1. Введение полиакрилонитриловой фибры в воду: а – клочок фибры без внешних воздействий не тонет в воде; б – после кратковременного перемешивания получается равномерная взвесь, которая за 4 ч не начала расслаиваться

Fig. 1. Introduction of polyacrylonitrile fiber into water: a – a piece of fiber does not sink in water without external influences; b – after short-term mixing, a uniform suspension is obtained, which did not begin to stratify in four hours

Полиакрилонитриловая фибра напоминает хлопковую вату, порезанную на фрагменты длиной до 2 см [3]. Полиакрилонитриловую фибру вводили в воду (рис. 1).

Битумная суспензия является композицией из воды и битумных частиц, стабилизированных твердым эмульгатором, получаемой путем перемешивания горячего битума с увлажненным твердым эмульгатором (минеральным порошком и/или его смеси с другими минеральными компонентами) [12].

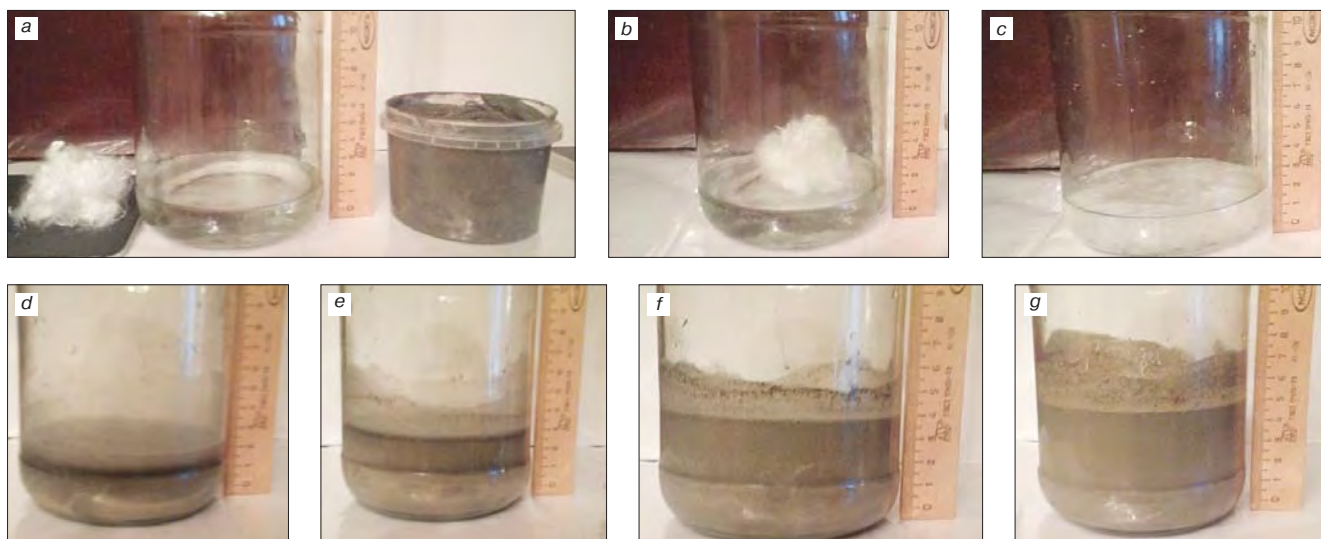
Проведены эксперименты по перемешиванию битумной суспензии с полиакрилонитриловой фиброй (рис. 2).

Однородная смесь получена путем перемешивания взвеси фибры, похожей на студень (3 см<sup>3</sup> фибры в 0,2 л воды), с 0,6 л битумной суспензии (находящейся в пластичном состоянии, которая подавалась и перемешивалась в несколько приемов). Через два месяца наблюдений признаков расслаивания не наблюдалось.

Проведены опыты с битумной суспензией, армированной полиакрилонитриловой фиброй (рис. 3). За сутки над однородной битумной суспензией образовался слой прозрачной воды высотой 12 мм.

Через 3 сут в системе битумная суспензия, армированная полиакрилонитриловой фиброй, изменений не произошло. При хранении в 3 сут суток из раствора суспензии с фиброй отделилось примерно 2/3 объема воды, введенной с взвесью (раствором) фибры в битумную суспензию, находящуюся в пластичном состоянии. Битумная суспензия в условиях, исключающих испарение воды (в герметичной таре), в результате самопроизвольных процессов стремится к стабильному агрегатному состоянию. Наиболее стабильным агрегатным состоянием битумной суспензии является пластичное.

Подтверждаются наблюдения о достаточно активном воздухоовлечении в битумную суспензию в процессе перемешивания и последующем медленном самопроизвольном удалении воздуха из объема суспензии (на шкале-линейке поверхность суспензии, разбавленной водой, непосредственно после приго-



**Рис. 2.** Эксперименты по перемешиванию битумной суспензии с полиакрилонитриловой фиброй: а – фибра (3 см<sup>3</sup>), вода, суспензия в пластичном состоянии (0,2 л); б – фибра не тонет; в – взвесь фибры в воде, похожая на студень; д – взвесь фибры в воде с добавлением ложки суспензии (легко перемешивается, быстро расслаивается); е – то же с двумя ложками суспензии (легко получается однородная смесь, быстро расслаивается); ф – то же с четырьмя ложками суспензии (расслаивание замедленное); г – введен весь объем суспензии (0,2 л), смесь однородна (расслоения не наблюдается)

**Fig. 2.** Experiments on mixing bitumen suspension with polyacrylonitrile fiber: а – fiber (3 cm<sup>3</sup>), water, suspension in a plastic state (0.2 l); б – fiber does not sink; в – suspension of fiber in water similar to jelly; д – suspension of fiber in water with the addition of a spoonful of suspension (mixes easily, quickly exfoliates), е – the same with two tablespoons of suspension (a homogeneous mixture is easily obtained, quickly exfoliates); ф – the same with four tablespoons of the suspension (delamination is delayed); г – the entire volume of the suspension (0.2 l) is introduced, the mixture is homogeneous (no stratification is observed)

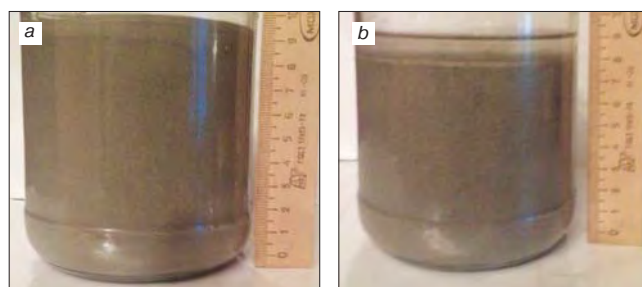
товления совпадает с отметкой 94 мм, а после хранения поверхность воды находится на отметке 92 мм).

В процессе приготовления битумной суспензии необходимо обеспечить ее получение в пластичном состоянии (похожем на пластилин). В таком состоянии смесь не будет расслаиваться не только при хранении, но и при транспортировании.

Для выявления влияния фибры на свойства тонких слоев из различных материалов на основе диспергированных битумов были приготовлены следующие образцы материалов-полуфабрикатов:

1. Битумная суспензия в пластичном состоянии.
2. Битумная суспензия, армированная полиакрилонитриловой фиброй.
3. Смесь, полученная перемешиванием трех объемных частей сухого дробленого песка фракции 0–3 мм с одной объемной частью битумной суспензии в пластичном состоянии (готовая смесь напоминает икру).
4. Смесь, полученная перемешиванием трех объемных частей сухого дробленого песка фракции 0–3 мм с одной объемной частью битумной суспензии, армированной полиакрилонитриловой фиброй.

Для обеспечения воспроизводимости результатов опытов были изготовлены формы в виде опалубки из пенопласта, покрытые с одной стороны фольгой (видна на фотографиях в виде блестящей каймы по периметру темного образца), а с другой (на которую непосредственно наносился материал-полуфабрикат) было основание, покрытое двухсторонним скотчем. Это позволило приготовить образцы конструкционного материала из различных смесей-полуфабрикатов на основе дисперсного битума размером



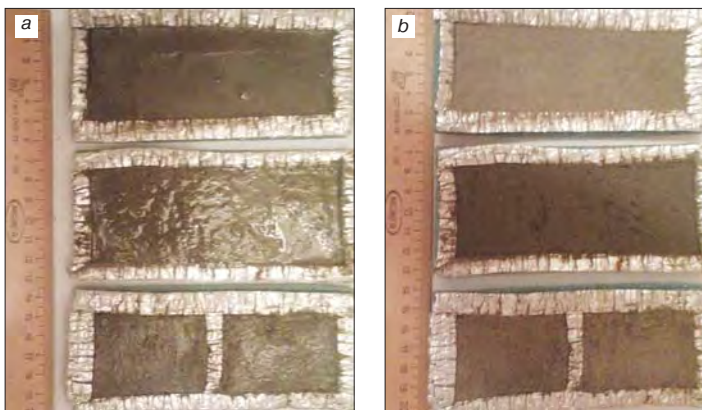
**Рис. 3.** Опыты с битумной суспензией: а – битумная суспензия, армированная фиброй, непосредственно после перемешивания; б – битумная суспензия, армированная фиброй, через сутки после перемешивания

**Fig. 3.** Experiments with a bitumen suspension: а – a cloudy suspension, reinforced with fiber, immediately after mixing; б – bitumen suspension reinforced with fiber, one day after mixing

120×40×4 мм (размеры и их соотношения приняты в соответствии с рядом предпочтительных чисел, рекомендуемых научной дисциплиной «Метрология»). Примененная конструкция формы достаточно близко имитирует условия нанесения тонких слоев асфальтовых материалов-полуфабрикатов с диспергированным битумом на асфальтобетонные покрытия для удаления воды из слоя преимущественно с его поверхности.

Образцы материалов-полуфабрикатов с полиакрилонитриловой фиброй наносились слоем толщиной 5 мм на пластину из пенопласта толщиной 5 мм (рис. 4). Образцы были помещены в комнатных условиях на поддон для формирования – превращения в конструкционный материал в результате процессов испарения воды и превращения дисперсного битума в пленку на поверхности минеральных зерен.





**Рис. 4.** Образцы для испытания: *a* – образцы непосредственно после нанесения слоя из полуфабриката; *b* – образцы через 12 ч после нанесения слоя полуфабриката (при температуре 25°C)

**Fig. 4.** Samples for testing: *a* – samples immediately after applying a layer of semi-finished product; *b* – samples 12 hours after applying a layer of semi-finished product (at a temperature of 25°C)

Видно, что слой из битумной суспензии, армированной фиброй (рис. 4, средний образец), имеет большую влажность (влажность действительно выше за счет введения в битумную суспензию водного раствора фибры) как на стадии приготовления образца (рис. 4, *a*, средний образец), где наблюдается характерный блеск поверхности в результате выхода на поверхность воды и битумного молочка, так и после сушки (формирования структуры материала); на рис. 4, *b*, средний образец, видно, что его поверхность более темная за счет большей влажности асфальтового материала (вид мокрого асфальта, образец и на ощупь более влажный).

Исследованы образцы через 12 ч после нанесения слоя из полуфабриката: вид вертикального разреза конструкции, внизу основание из пенопласта толщиной около 5 мм, сверху слой материала в опалубке из того же пенопласта, после хранения образца при комнатных условиях в течение 12 ч (рис. 5).

На рис. 6 представлен слой из смеси сухого дробленого песка фракции 0–3 мм, перемешанного с битумной суспензией.

На рис. 5, 6 наглядно видно, что все образцы, изначально имевшие плоскую форму, превратились в оболочку цилиндра с различным радиусом.

Происшедшим процессам и их видимым проявлениям целесообразно дать следующие объяснения:

1. Изгибание (искривление) плоской оболочки обусловлено действием усадочных напряжений, которые сначала возникают в поверхностном слое образца (в результате испарения воды).

2. Как и следовало предполагать, на величину изменений в слое с применением дисперсного битума под действием усадочных явлений, существенное влияние на которые оказывает множество факторов (априорно известных специалистам по строительным материалам, но количественно весьма туманно прогнозируемых), главными являются: влажность смеси, содержание мелких фракций, их свойства и др.



**Рис. 5.** Слой из битумной суспензии, армированной фиброй  
**Fig. 5.** A layer of fiber-reinforced bitumen suspension



**Рис. 6.** Слой из смеси сухого дробленого песка фракции 0–3 мм, перемешанного с битумной суспензией

**Fig. 6.** A layer of a mixture of dry crushed sand of fraction 0–3 mm mixed with bitumen suspension

3. Искривление (зазор между поверхностью линейки и поверхностью материала из битумной суспензии в пластичном состоянии) оказалось больше, чем в пластине (слое) с большим содержанием воды (из битумной суспензии с армирующими волокнами). Волокна фибры уже начали проявлять выраженную способность противостоять растягивающим напряжениям.

4. Минимальное искривление слоя из смеси битумной суспензии с сухим дробленым песком фракции 0–3 мм наиболее ожидаемо. Эта смесь-полуфабрикат имеет определяющие превосходства: наименьшая исходная влажность; наименьшее содержание мелкой фракции (обладающей наибольшей водоудерживающей способностью, с одной стороны) и максимальная «отсасывающая» способность сухого пористого материала поглощать влагу из смеси.

Образцы материалов на основе битумной суспензии за шесть дней хранения в комнатных условиях превращаются в материал с практически сформированной структурой (рис. 7).

При снятии опалубки установлено, что материалы на основе битумной суспензии имеют большое сцепление с пенопластом, покрытым двухсторонним скотчем.

С учетом полученных результатов с образцов, не содержащих дробленый песок, удалялась опалубка только по их периметру (рис. 8).

Вид образцов сбоку перед проведением испытаний на изгиб (через 6 сут) представлен на рис. 9.

После завершения формирования образцы испытывались на растяжение при изгибе – это наиболее объективный критерий эффективности дисперсного армирования.

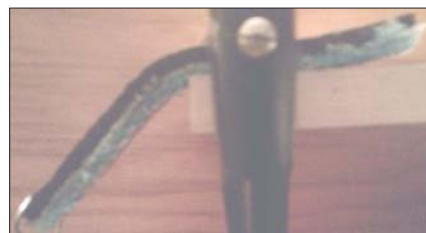
Для оценки сопротивляемости изгибающим напряжениям была принята схема нагружения горизонтальной консольной балки, замкнутой в вертикальной стене, сосредоточенной вертикальной нагрузкой, приложенной к торцу балки на расстоянии 60 мм от вертикальной стены.



**Рис. 7.** Образцы битумных материалов на основе суспензии через 6 сут  
**Fig. 7.** Samples of bituminous materials based on a suspension after six days



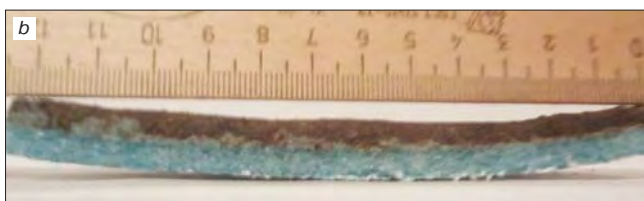
**Рис. 8.** Вид образцов сверху  
**Fig. 8.** Top view of samples



**Рис. 10.** Результат приложения нагрузки на образец, сформированный из битумной суспензии, армированной полиакрилонитриловой фиброй  
**Fig. 10.** Result of applying a load to a sample formed from a bitumen suspension reinforced with polyacrylonitrile fiber



**Рис. 11.** Образец, пружинящий после проведения испытаний при изгибе  
**Fig. 11.** Springing of the specimen after bending tests



**Рис. 9.** Образец из битумной суспензии: *a* – в пластичном состоянии (менее искривлен усадочными напряжениями); *b* – армированный фиброй  
**Fig. 9.** A sample from a bitumen suspension: *a* – in a plastic state (less distorted by shrinkage stresses); *b* – reinforced with fiber

При испытании на изгиб образец, сформированный из битумной суспензии в пластичном состоянии, разрушился (сломался) при нагрузке около 50 г.

Испытания образца, сформированного из битумной суспензии, армированной полиакрилонитриловой фиброй, продемонстрировали хороший результат. При плавном увеличении нагрузки до 600 г образец начал медленно изгибаться под действием вертикальной нагрузки и, согнувшись более чем на 50°, сбросил ее (рама, через которую передавалась нагрузка, слетела, рис. 10).

После снятия нагрузки образец пружинисто вернулся в почти прежнее горизонтальное положение (рис. 11).

Вид образца без армирования фиброй после проведения испытаний на изгиб сбоку представлен на рис. 12.

### Выводы

1. Установлена принципиальная возможность равномерного распределения армирующих элементов (в виде коротких волокон полиакрилонитриловой фибры) в объеме армируемых асфальтовых материалов на основе вязких диспергированных битумов.



**Рис. 12.** Вид образца без фибры после проведения испытаний при изгибе сбоку  
**Fig. 12.** View of samples without fiber after bending tests from the side

2. Разработана технология введения фибры в смеси-полуфабрикаты асфальтовых материалов на основе диспергированных битумов.

3. На асфальтобетонном заводе в расходной емкости для воды приготавливается взвесь (раствор) фибры из волокон полиакрилонитрила необходимой концентрации (в мешалке вместе с проектной нормой воды должно быть проектное содержание фибры).

4. С применением раствора фибры могут приготавливаться любые дисперсно-армированные асфальтовые материалы на основе диспергированного битума.

5. Битумная суспензия в условиях, исключающих испарение воды (в герметичной таре), в результате самопроизвольных процессов стремится к стабильному агрегатному состоянию. Наиболее стабильным агрегатным состоянием битумной суспензии является пластичное.

6. В процессе приготовления битумной суспензии необходимо обеспечить ее получение в пластичном состоянии. Такая смесь не будет расслаиваться не только при хранении, но и при транспортировании [14].

7. Впервые получен материал из битумной суспензии, армированной полиакрилонитриловой фиброй, который в тонких слоях под действием изгибающих нагрузок не разрушается, а обратимо деформируется.



## Список литературы

1. Раб И.И. Исследование порошкообразных эмульгаторов и битумных паст, используемых в холодном асфальтобетоне. Дисс. ... канд. техн. наук. Омск, 1975. 100 с.
2. Андронов С.Ю. Технология дисперсно-армированного композиционного холодного щебеночно-мастичного асфальта // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2017. № 4. С. 67–71.
3. Горнаев Н.А. Исследование асфальтового бетона на битумных эмульсиях. Дисс. ... канд. техн. наук. Харьков, 1963. 200 с.
4. Горнаев Н.А. Технология асфальта с дисперсным битумом: Учебное пособие. Саратов, 1997. 61 с.
5. Горнаев Н.А., Калашников В.П. Эмульгирующая способность минеральных порошков. *Проблемы транспорта и транспортного строительства: Межвуз. науч. сб.* Саратов, 2004. С. 156–158.
6. Иванов А.Ф. Технология, структурообразование и свойства асфальтобетона с дисперсным битумом. Дисс. ... канд. техн. наук. Саратов, 1986. 172 с.
7. Горнаев Н.А., Никишин В.Е., Кочетков А.В. Холодный регенерированный асфальт // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2007. Т. 3. № 1 (26). С. 112–116.
8. Строчков К.М. О предельном содержании битума в битумных эмульсиях на твердых эмульгаторах. *Проблемы транспорта и транспортного строительства: Межвуз. науч. сб.* Саратов, 2006. С. 181–183.
9. Патент РФ 2285707. *Способ изготовления битумосодержащих смесей с минеральным компонентом* / А.В. Светенко, К.М. Строчков, Н.А. Горнаев. Заявл. 16.05.2005. Оpubл. 20.10.2006. Бюл. № 29. 7 с.
10. А. с. 883221 СССР. *Способ приготовления битумо-минеральной смеси* / Н.А. Горнаев, В.П. Калашников, А.Ф. Иванов. Оpubл. в Б.И. 1981. № 43.
11. Патент РФ № 2351703. *Способ приготовления холодной органоминеральной смеси для дорожных покрытий* / Н.А. Горнаев, В.Е. Никишин, С.М. Евтеева и др. Оpubл. 10.04.2009. 2009-04-10 Publication of RU2351703C1
12. Патент РФ № 2662493. *Способ получения битумной эмульсии и битумная эмульсия* / А.В. Кочетков. 2017.
13. Андронов С.Ю., Трофименко Ю.А., Кочетков А.В. Технология производства холодного композиционного щебеночно-мастичного асфальта с дисперсным битумом // *Наукоедение: Интернет-журнал*. 2016. Т. 8. № 2. DOI: 10.15862/105TVN216.
14. Андронов С.Ю., Иванов А.Ф., Кочетков А.В. Технология производства и применения дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей с базальтовой фиброй // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 70–75. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-70-75>.

## References

1. Rab I.I. Research of powdered emulsifiers and bitumen pastes used in cold asphalt concrete. Dis ... Candidate of Sciences (Engineering). Omsk. 1975. 100 p. (In Russian).
2. Andronov S.Yu. Technology of dispersed-reinforced composite cold crushed stone-mastic asphalt. *Vestnic of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2017. No. 4, pp. 67–71. (In Russian).
3. Gornaev N.A. Investigation of asphalt concrete on bitumen emulsions. Dis ... Candidate of Sciences (Engineering). Kharkov. 1963. 200 p.
4. Gornayev N.A. Tekhnologiya asfal'ta s dispersnym bitumom: uchebnoye posobiye [Dispersed bitumen asphalt technology: a tutorial]. Saratov. 1997. 61 p.
5. Gornaev N.A., Kalashnikov V.P. Emulsifying ability of mineral powders. *Problems of transport and transport construction. Interuniversity scientific collection*. Saratov. 2004. 156–158. (In Russian).
6. Ivanov A.F. Technology, structure formation and properties of asphalt concrete with dispersed bitumen. Dis ... Candidate of Sciences (Engineering). Saratov. 1986. 172 p. (In Russian).
7. Gornaev N.A., Nikishin V.E., Kochetkov A.V. Cold reclaimed asphalt. *Vestnik of the Saratov State Technical University*. 2007. Vol. 3. No. 1 (26). 112–116. (In Russian).
8. Strachkov K.M. On the limiting content of bitumen in bitumen emulsions on solid emulsifiers. *Transport and transport construction problems: interuniversity scientific collection*. Saratov. 2006. 181–183. (In Russian).
9. Patent RF 2285707. *Sposob izgotovleniya bitumosoderzhashchikh smesey s mineral'nykh komponentom* [Method of manufacturing bitumen-containing mixtures with a mineral component]. A.V. Svetenko, K.M. Strachkov, N.A. Gornaev; Declared 16.05.2005. Published 20.10.2006. Bul. No. 29. 7 p. (In Russian).
10. Copyright certificate 883221 USSR. *Sposob prigotovleniya bitumomineral'noy smesi* [Method for preparing bitumen-mineral mixture]. N.A. Gornaev, V.P. Kalashnikov, A.F. Ivanov. Publ. in bul. No. 43. 1981. (In Russian).
11. Patent RF No. 2351703. *Sposob prigotovleniya kholodnoi organomineral'noi smesi dlya dorozhnykh pokrytii* [Method of preparation of cold organic-mineral mixture for road surfaces] / N.A. Gornaev, V.E. Nikishin, S.M. Evteeva et al. Publication of RU2351703C1 10.04.2009. (In Russian).
12. Patent RF No. 2662493 *Sposob polucheniya bitumnoy emul'sii i bitumnaya emul'siya* [A method for producing a bitumen emulsion and a bitumen emulsion] A.V. Kochetkov 2017. (In Russian).
13. Andronov S.Yu., Trofimenko Yu.A., Kochetkov A.V. Technology of production of cold composite crushed stone-mastic asphalt with dispersed bitumen. *Internet-journal Naukovedenie*. 2016. Vol. 8. No. 2. DOI: 10.15862 / 105TVN216. (In Russian).
14. Andronov S.Yu., Ivanov A.F., Kochetkov A.V. Technology of production and application of dispersed-reinforced asphalt concrete mixes with basalt fiber. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3. 70–75. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-70-75>

В.П. СЕЛЯЕВ, д-р техн. наук, академик РААСН (ntorm80@mail.ru),  
Л.И. КУПРИЯШКИНА, канд. техн. наук (kupriashkina.liudmila@yandex.ru),  
Е.Л. КЕЧУТКИНА, инженер (ntorm80@mail.ru), Н.Н. КИСЕЛЕВ, инженер (ntorm80@mail.ru),  
О.В. ЛИЯСКИН, аспирант (oliyaskin@mail.ru)

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (430000, г. Саранск, ул. Большевикская, 68)

## Механические характеристики вакуумных теплоизоляционных панелей: диаграммы деформирования, прочность, модули деформаций

Приведены результаты исследования механических свойств вакуумных изоляционных панелей. Определены прочность при сжатии, модули деформаций (упругий и секущий) при сжатии и сдвиге. Показана зависимость механических характеристик вакуумных изоляционных панелей (ВИП) от вида и количественного соотношения наполнителей. Установлено, что диаграмму деформирования ВИП при сжатии можно описать аналитической функцией. Экспериментальными исследованиями свойств ВИП установлено, что диаграмма деформирования ВИП имеет вид, характерный для материалов, самоупрочняющихся в процессе нагружения сжимающей нагрузкой, и адекватно описывается функцией Г.В. Бюльфингера. Предложена методика для определения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$ , позволяющих верифицировать аппроксимирующую функцию по экспериментальным данным. Разработаны полиномиальные модели, описывающие зависимость модуля упругости, прочности, коэффициента теплопроводности от состава и количественного соотношения волокнистых и порошковых наполнителей. Установлено, что численные значения модулей деформаций зависят от вида, количества порошкового наполнителя, их соотношения с волокнистым наполнителем. Значения модулей деформаций, прочности увеличиваются с повышением содержания и крупности частиц наполнителя. Разработана методика определения модуля сдвига для ВИП. Экспериментально установлено, что величина модуля сдвига для ВИП зависит как от состава наполнителя, так и от характеристик пленочной оболочки панели.

**Ключевые слова:** вакуумная изоляционная панель, диатомит, микрокремнезем, теплопроводность, прочность, сжатие, сдвиг, модуль деформаций.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 18-48-130001/19 «Оптимизационное моделирование свойств теплоизоляционных функционально-градиентных изделий на основе минеральных порошков оксида кремния, синтезированного из природного диатомита».

**Для цитирования:** Селяев В.П., Куприяшкина Л.И., Кечуткина Е.Л., Киселев Н.Н., Лияскин О.В. Механические характеристики вакуумных теплоизоляционных панелей: диаграммы деформирования, прочность, модули деформаций // *Строительные материалы*. 2020. № 10. С. 44–51. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-785-10-44-51>

V.P. SELIAEV, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS (ntorm80@mail.ru),  
L.I. KUPRIYASHKINA, Candidate of Sciences (Engineering) (kupriashkina.liudmila@yandex.ru), E.L. KECHUTKINA, Engineer (ntorm80@mail.ru),  
N.N. KISELEV, Engineer (ntorm80@mail.ru), O.V. LIYASKIN, Post-graduate student (oliyaskin@mail.ru)

### Mechanical Characteristics of Vacuum Thermal Insulation Panels: Deformation Diagrams, Strength, Deformation Modules

The results of studying the mechanical properties of vacuum insulation panels are presented. The compressive strength and deformation modules (elastic and secant) under compression and shear are determined. The dependence of the mechanical characteristics of vacuum insulation panels (VIP) on the type and quantitative ratio of fillers is shown. It is established that the diagram of deformation of the VIP under compression can be described by an analytical function. Experimental studies of the properties of VIP have established that the deformation diagram of VIP has the form characteristic for materials that self-strengthen during loading with a compressive load and is adequately described by the function of G. V. Bulfinger. A method is proposed for determining the coefficients  $\alpha$  and  $\beta$  that makes it possible to verify the approximating function using experimental data. Polynomial models describing the dependence of the elastic modulus, strength, and thermal conductivity coefficient on the composition and quantitative ratio of fiber and powder fillers are developed. It is established that the numerical values of the strain modulus depend on the type, amount of powder filler, and their ratio to the fibrous filler. The values of strain and strength models increase with increasing content and size of filler particles. A method for determining the shear modulus for VIP has been developed. It has been experimentally established that the value of the shear modulus for VIP depends on both the filler composition and the characteristics of the panel film shell.

**Keywords:** vacuum insulation panel, diatomite, silica fume, thermal conductivity, strength, compression, shear, modulus of deformation.

The work was executed with the support of RFBR No. 18-48-130001/19 "Optimization modeling of properties of heat-insulating functional gradient products based on mineral powders of silicon oxide synthesized from natural diatomite".

**For citation:** Selyaev V.P., Kupriyashkina L.I., Kechutkina E.L., Kiselev N.H., Liyaskin O.V. Mechanical characteristics of vacuum thermal insulation panels: deformation diagrams, strength, deformation modules. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 10, pp. 44–51. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-785-10-44-51>



Создание энергоэффективных ограждающих конструкций зданий и сооружений — одна из важнейших задач, решение которой позволит обеспечить значительную экономию энергоресурсов. Известно, что более 30% энергоресурсов потребляется на обеспечение комфортных условий проживания. Вакуумные изоляционные панели (ВИП) с крайне низкой теплопроводностью до 0,002 Вт/(м·К) являются экологичными, огнестойкими, обладают высоким химическим и биологическим сопротивлением [1–4]. Для успешного применения ВИП в конструкциях стеновых, перекрытий и покрытий необходимо знать механические характеристики ВИП: диаграмму деформирования, прочность на сжатие, модули деформаций при сжатии и сдвиге.

### Цель работы

Разработка методики экспериментального определения прочности при сжатии, диаграммы деформирования; модулей деформирования при сжатии и сдвиге.

Изучение закономерностей влияния состава наполнителя, количественного соотношения между порошковым и волокнистым наполнителем на механические характеристики ВИП.

Аналитическое описание диаграммы деформирования ВИП.

### Материалы и методы испытаний

Вакуумные изоляционные панели представляют собой композиционные изделия, состоящие из оболочки и наполнителей. Оболочки выполняются из пленок полимерных, металлических (фольга), комбинированных, многослойных.

В качестве наполнителей применяют минеральные порошки [5] и волокна. Теплотехнические и механические свойства ВИП зависят от вида, соотношения порошкового и волокнистого наполнителей; крупности зерен; диаметра волокна; элементного и фазового состава наполнителя [6, 7].

Изготовление панелей типа ВИП производилось с применением вакуумного упаковщика Henkelman Polar 52.

Наполнитель панели должен обеспечивать формоустойчивость конструкции изделия; высокие теплотехнические показатели при повышении давления; блокировку передачи тепла излучением. Также все составляющие наполнителя должны быть инертны в среде вакуума, не содержать анаэробных бактерий. Компонентами наполнителя являются: пористый порошок (аэрогель, пудра и т. д.), армирующие волокна (минеральные, органические волокна, фибра), рассеиватели лучистой энергии (диоксид титана). Оболочка вакуумной теплоизоляционной панели в первую очередь обеспечивает сохранность вакуума на протяжении всего срока службы изделия [8–14].

Теплотехнические характеристики вакуумной теплоизоляции определяли методом измерения стацио-

нарного теплового потока с применением измерителя теплопроводности ИТС-1. Для испытаний изготавливались образцы 150×150×10 мм, которые помещались в измерительную ячейку. Интерфейс и математическое обеспечение прибора обеспечивают измерение теплопроводности в диапазоне 0,02–1,5 Вт/(м·К). Для измерения теплопроводности материала ниже 0,02 Вт/(м·К) применяли метод лазерной вспышки на приборе LFA-427 и лабораторные установки, оснащенные датчиками измерения тепловых потоков типа ИПП-2 по ГОСТ 7076–99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме» и ГОСТ 25380–2014 «Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции».

Механические характеристики: прочность при сжатии — напряжение, соответствующее 10%-ной деформации; модули деформации при сжатии и сдвиге; диаграммы деформирования, определенные путем механических испытаний образцов ВИП размером 100×100×10 мм.

### Определение модуля упругости и прочности при сжатии вакуумной теплоизоляционной панели

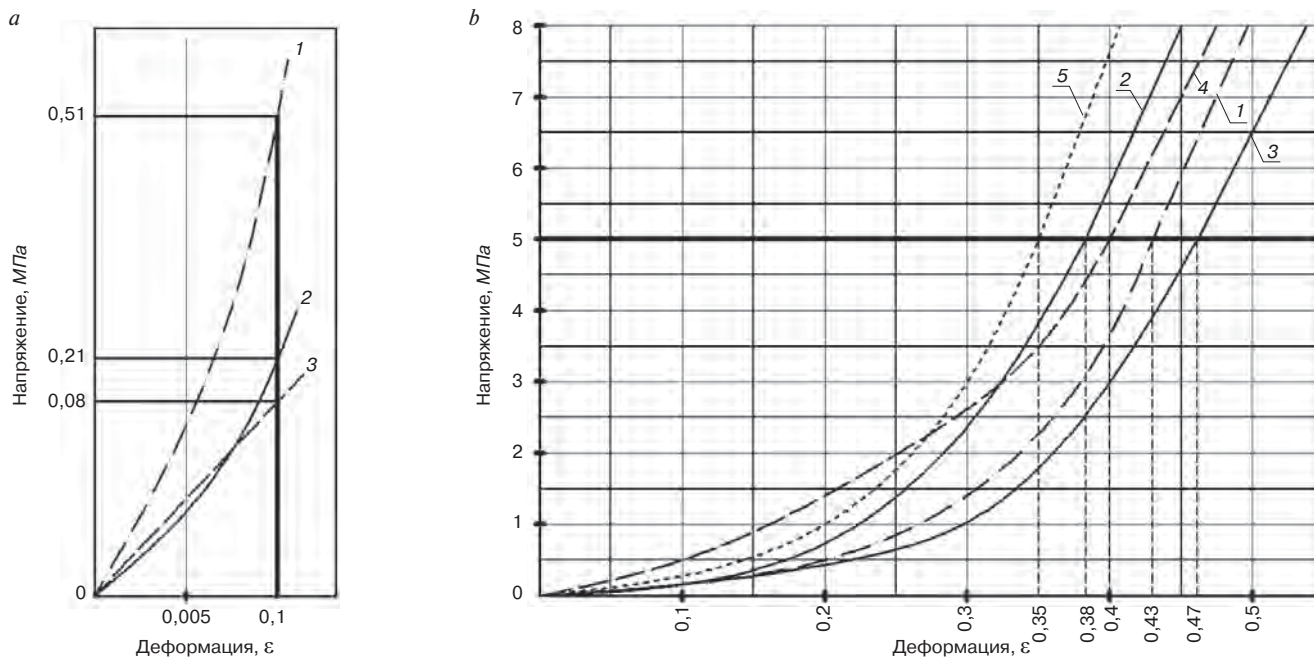
Модуль упругости зернистых материалов  $E_0$  зависит от размера и степени шероховатости поверхности частиц, пористости засыпки, модуля упругости материала частиц и величины внешней нагрузки. С уменьшением пористости и с увеличением внешней нагрузки модуль упругости должен приближаться к модулю упругости материала зерен. На практике учесть вышеперечисленные факторы сложно, поэтому предлагают применять полуэмпирическую зависимость [15]:

$$E_0 = K_E P_{уд}^{1/3} E_{упр}^{2/3}, \quad (1)$$

где  $K_E$  — эмпирический коэффициент, изменяющийся для различных материалов в пределах от 0,5 до 1;  $P_{уд}$  — удельная внешняя нагрузка.

Для экспериментального определения модуля упругости ВИП в качестве образцов были изготовлены вакуумные теплоизоляционные панели на основе пирогенного микрокремнезема и диатомита размером 100×100×10 мм. Плотность образцов составила 170 и 260 кг/м<sup>3</sup> соответственно. Для сравнения испытывалась панель китайского производства в металлзированной оболочке. Оболочка образцов представляет собой сваренный с трех сторон термической сваркой герметичный пакет из двухслойного пластика (PET/PE).

Диаграммы деформирования « $\sigma$ – $\varepsilon$ » для ВИП, полученные экспериментально и представленные на рис. 1, имеют вид, характерный для материалов, самоупрочняющихся в процессе нагружения сжимающей нагрузкой. Аналитическое описание диаграммы деформирования ВИП при сжатии возможно функ-



**Рис. 1.** Диаграммы деформирования ВИП: (а) 1 – китайского образца; 2 – образца на основе пирогенного микрокремнезема марки «Орисил-300»; 3 – образца на основе диатомита; (б) 1, 2, 3 – образцы на основе БС-100 и базальтового волокна в количестве в граммах по массе: 125-5; 125-10; 125-15; 4 – китайский образец; 5 – наполнитель диатомит

**Fig. 1.** VIP deformation diagrams: (a) 1 – of the Chinese sample; 2 – based on pyrogenic silica fume of the Orisil-300 brand; 3 – based on diatomite; (b) 1, 2, 3 – based on BS-100 and basalt fiber in the amount in grams by weight: 125-5; 125-10; 125-15; 4 – Chinese sample; 5 – filler diatomaceous earth

цией Г.Б. Бюльфингера, которая в относительных координатах имеет вид:

$$\frac{\sigma}{\sigma_u} = a \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_u} \right)^\beta, \quad (2)$$

где  $\sigma_u$  – предельно допустимое значение напряжений;  $\varepsilon_u$  – относительная деформация, соответствующая  $\sigma_u$ ;  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты, определяемые по экспериментальным данным;  $\sigma$ ,  $\varepsilon$  – переменные значения напряжений и деформаций, фиксируемые в процессе нагружения.

Так как при  $\varepsilon = \varepsilon_u$  имеем  $\sigma = \sigma_u$ , то  $a = 1$ .

Определение коэффициента  $\beta$  произведем путем логарифмирования линеаризации уравнения (2), и тогда:

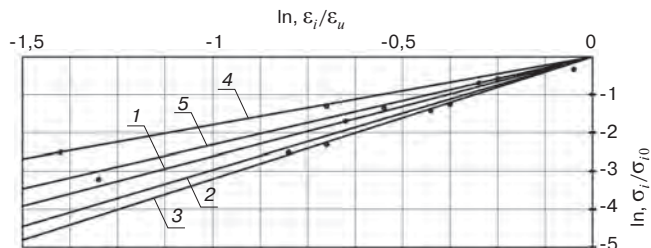
$$\beta = \frac{\ln(\sigma_1/\sigma_u) - \ln(\sigma_2/\sigma_u)}{\ln(\varepsilon_1/\varepsilon_u) - \ln(\varepsilon_2/\varepsilon_u)}. \quad (3)$$

Экспериментальные графические зависимости между напряжениями и деформациями (рис. 1) при построении диаграмм в двойных логарифмических координатах преобразуются в линейные зависимости (рис. 2), из анализа которых по формуле (3) рассчитаны коэффициенты  $\beta$ :  $\beta_1 = 2,67$ ;  $\beta_2 = 3$ ;  $\beta_3 = 3,2$ ;  $\beta_4 = 1,73$ ;  $\beta_5 = 2,3$  (нумерация соответствует номерам графиков).

Значения коэффициентов  $\beta_i$  дают возможность из формулы (2) определить модуль упругости:

$$E_0 = \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} = \frac{\sigma_u}{\varepsilon_u} \beta \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_u} \right)^{\beta-1}, \quad (4)$$

где  $\frac{\sigma_u}{\varepsilon_u} = E_u$  – предельный секущий модуль деформаций.



**Рис. 2.** Линеаризация экспериментальных данных, представленных на рис. 1.

**Fig. 2.** Linearization of experimental data, presented in fig. 1

**Таблица 1**  
**Table 1**

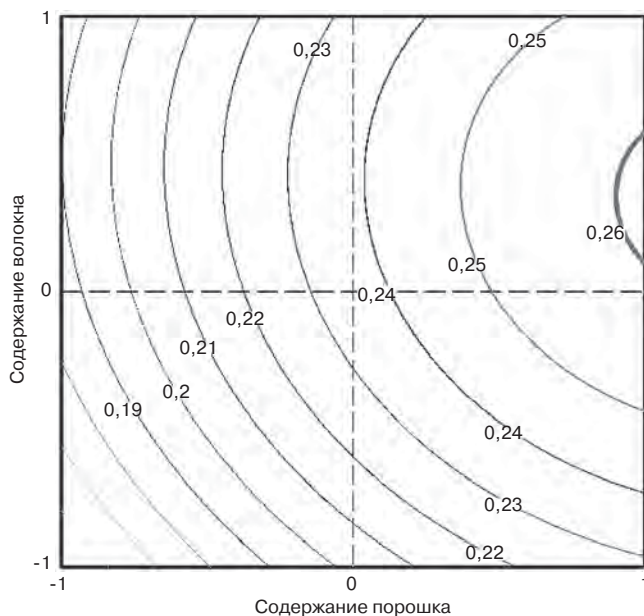
**Механические свойства ВИП**  
**The mechanical properties of VIP**

Номер ВИП / Показатель	1	2	3	4	5	6 СVIP-2-1
$\sigma_u$ , МПа	5	5	5	5	5	5
$\varepsilon_u$	0,43	0,38	0,47	0,4	0,35	0,46
$E_u$ , МПа	11,6	13,2	10,6	12,5	14,3	10,87
$\beta$	2,67	3	3,2	1,73	2,3	3,3
$E$ , МПа при $\varepsilon = 0,1$	2,67	2,69	1,02	6,3	6,25	5,1
$E$ , МПа при $\varepsilon = \varepsilon_u$	31	39,6	33,9	21,63	32,9	34,8
Теплопроводность	0,011	0,016	0,014	0,005	0,026	0,008



Таблица 2  
Table 2План и результаты эксперимента  
The design and results of the experiment

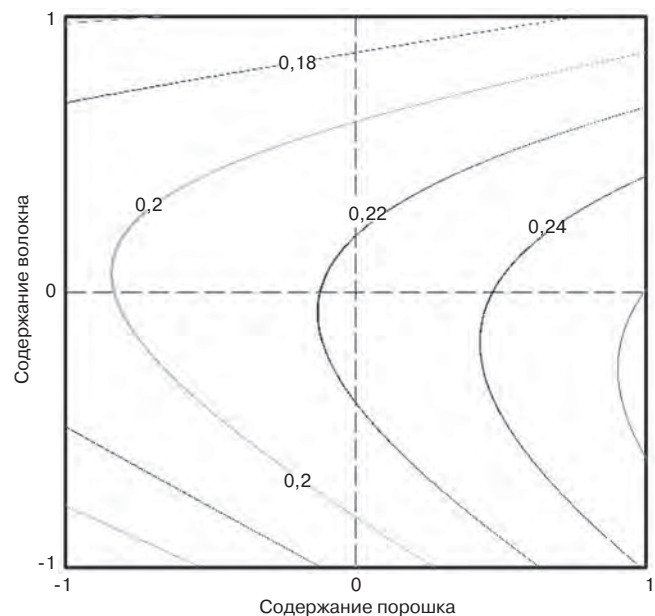
Номер точки плана	В нормализованных факторах		В натуральных факторах		Выходной параметр	Вычисленная прочность при сжатии $\gamma$ , МПа	Отклонение измеренной от вычисленной
	$x_1$ (количество порошка)	$x_2$ (количество волокна)	$x_1$ (грамм)	$x_2$ (грамм)	$y$ (прочность при сжатии), МПа		
1	-1	-1	100	5	0,14	0,15	-7,14%
2	0	-1	125	5	0,2	0,202	-1%
3	1	-1	150	5	0,24	0,228	+5%
4	-1	0	100	10	0,21	0,186	+11,43%
5	0	0	125	10	0,23	0,236	-2,61%
6	1	0	150	10	0,24	0,259	-7,92%
7	-1	1	100	15	0,17	0,185	-8,82%
8	0	1	125	15	0,24	0,232	+3,33%
9	1	1	150	15	0,26	0,253	+2,69%



**Рис. 3.** Графическая зависимость прочности ( $y_1$ ) от количества наполнителя ( $x_1$  – белая сажа;  $x_2$  – минеральное волокно)  
**Fig. 3.** Graphical dependence of the strength ( $y_1$ ) on the amount of filler ( $x_1$  – white carbon;  $x_2$  – mineral fiber)

Условные значения (при  $\sigma_u=5$  МПа) механических свойств ВИП, диаграммы « $\sigma$ – $\epsilon$ », которые представлены на рис. 1, рассчитанные по формуле (4), приведены в табл. 1.

Для экспериментального определения значений  $\sigma$  и  $E$  проведены специальные исследования зависимости модуля упругости и прочности от состава наполнителя ВИП. Результаты исследований, приведенные в табл. 1, свидетельствуют: модуль упругости ВИП возрастает с увеличением нагрузки  $E_0(\epsilon=\epsilon_u) > (\epsilon=0,1)$ ; предельные значения секущего модуля ВИП близки по величине независимо от вида наполнителя; модуль упругости и предельный секущий модуль зависят от соотношения и количества зернистого и волокнистого наполнителей.



**Рис. 4.** Графическая зависимость напряжений при сжатии  $\epsilon=10\%$  в зависимости от состава наполнителя (атемарский диатомит)  
**Fig. 4.** Graphical dependence of compressive stress  $\epsilon=10\%$  depending on the composition of the filler (atemarский диатомит)

Прочность ВИП принималась равной значению  $\sigma$  при  $\epsilon=0,1$ ; модуль упругости  $E_0$  принимался равным секущему модулю  $E_c$ , если  $\epsilon < 0,1$ , и определялся по формуле  $E_0 = E_c = 10\sigma(\epsilon=0,1)$ .

Исследование зависимости модуля деформации, прочности, теплопроводности ВИП от количественного соотношения дисперсных и волокнистых наполнителей проводилось с применением матрицы двухфакторных экспериментов оптимальных планов Киффера–Коно.

Варьирование переменных факторов производилось на трех уровнях -1; 0; +1, что давало возможность получать полиномиальную модель типа:

$$y_i = b_{0i} + b_{1i}x_{1i} + b_{2i}x_{2i} + b_{12}x_{1i}x_{2i} + b_{11i}x_{1i}^2 + b_{22i}x_{2i}^2. \quad (5)$$

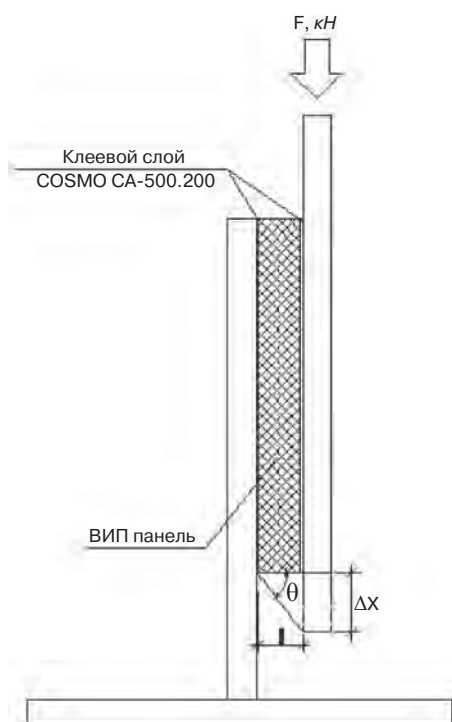
Таблица 3  
Table 3

План и результаты эксперимента  
The design and results of the experiment

Номер точки плана	В нормализованных факторах		В натуральных факторах		Выходной параметр	Вычисленное значение $Y$ , МПа	Отклонение измеренной от вычисленной, %
	$x_1$ (количество порошка)	$x_2$ (количество волокна)	$x_1$ (грамм)	$x_2$ (грамм)	$y$ (прочность при сжатии), МПа		
1	-1	-1	200	15	0,146	0,139	+4,79
2	0	-1	225	15	0,21	0,186	+11,42
3	1	-1	250	15	0,21	0,241	-14,76
4	-1	0	200	20	0,15	0,196	-30,66
5	0	0	225	20	0,24	0,224	+10,34
6	1	0	250	20	0,29	0,26	+19,79
7	-1	1	200	25	0,197	0,158	+6,66
8	0	1	225	25	0,127	0,167	-31,49
9	1	1	250	25	0,186	0,185	+0,53

Таблица 4  
Table 4

Результаты испытаний на сдвиг вакуумных панелей  
Vacuum panel shear test results



№ п/п	Наименование оболочки панели	$A$ , м <sup>2</sup>	$F$ , Н	$\Delta X$	$L$ , м	$G$ , ГПа
1	12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 50 мкм PE-LD + защитный слой из стеклопластика	0,01	700	0,0022	0,01	0,000318
2	12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 50 мкм PE-LD	0,01	550	0,002	0,01	0,000275
3	50 мкм PA/50 мкм PE	0,01	250	0,0137	0,01	0,0000175

Таблица 5  
Table 5

Модули сдвига различных материалов  
Shear Modules for Various Materials

Материал	Сталь	Полиэтилен	Резина	VIP		
				1	2	3
Модуль $G$ , ГПа	79,3	0,117	0,0006	0,000318	0,000275	0,0000175

Рис. 5. Схема проведения испытания VIP на сдвиг

Fig. 5. Scheme of testing a VIP panel for shear

Объектами исследования являлись опытные образцы VIP размером 100×100×10 мм с различными комбинациями материала-наполнителя:

- белая сажа БС-100 и минеральное базальтовое волокно (МБВ);
- диатомит Атемарского месторождения (Д) и минеральное базальтовое волокно (МБВ).

Для сопоставления качества опытных образцов была испытана вакуумная изоляционная панель CVIP-2-1 китайского производителя компании «Дейли».

В процессе исследования производились испытания по определению прочности на сжатие с помощью гидравлического пресса [8, 9].

Двухфакторные планы экспериментов представлены в табл. 2, 3. При реализации эксперимента в качестве выходного параметра  $y$  контролировалась нагрузка при сжатии при 10%-ной деформации. После обработки экспериментальных данных были получены графические зависимости изменения прочности при сжатии образцов от количественного содержания порошкообразного наполнителя и волокон.

Результаты испытаний вакуумированных образцов с наполнителем из белой сажи БС-100 и минерального волокна представлены в табл. 2.

В результате статистической обработки получено уравнение регрессии:

$$y = 0,236 + 0,037x_1 + 0,015x_2 - 0,013x_1^2 - 0,018x_2^2. \quad (6)$$

Построены графики (рис. 3), описывающие изменение значений прочности при сжатии в зависимости от состава наполнителя. Сравнение значений, полученных экспериментально и расчетом по уравнению (6), представлено в табл. 2. Следует отметить, что значения прочности, определенные при условии  $\varepsilon=0,1$ , дают возможность получить адекватное уравнение, описывающее изменение модуля упругости  $E_0$  при варьировании значений  $x_1$  и  $x_2$ , которое имеет вид:

$$E_0 = 2,36 + 0,37x_1 + 0,15x_2 - 0,13x_1^2 - 0,18x_2^2,$$

где  $x_1$  и  $x_2$  – количество порошка и волокна соответственно, пределы изменения даны в табл. 2;  $\max E = 2,6$  МПа при  $x_1 = +1$ , что соответствует 150 г.

Полученные графические зависимости свидетельствуют о том, что наибольшая прочность при сжатии получена для образцов с содержанием порошка 150 г.

Результаты испытания ВИП с наполнителем из атемарского диатомита и минерального волокна представлены в табл. 3.

В результате статистической обработки получено уравнение регрессии вида:

$$y = 0,224 + 0,032x_1 - 0,009x_2 + 0,004x_1^2 - 0,047x_2^2 - 0,019x_1x_2. \quad (7)$$

По данным уравнения (7) построен график (рис. 4), описывающий изменение значений прочности при сжатии в зависимости от состава наполнителя. Сравнение значений, полученных опытным путем и расчетом прочности при сжатии, представлено в табл. 3.

Полиномиальная модель, описывающая зависимость модуля упругости от количества диатомита ( $x_1$ ) и минерального волокна ( $x_2$ ), имеет вид:

$$E = 2,24 + 0,32x_1 - 0,47x_2^2 - 0,19x_1x_2; \max E = 2,6.$$

Полученные графические зависимости свидетельствуют о том, что наибольшая прочность при сжатии получена для образцов с содержанием диатомита 250 г и минерального волокна 20 г.

Модули деформаций  $E_0$  и  $E_c$  для ВИП с наполнителем БС-100 и диатомитом изменяются в пределах соответственно 1,4–2,6 МПа и 1,27–2,9 МПа.

Определение модуля сдвига вакуумной теплоизоляционной панели усложняется тем, что при действии сдвигающей нагрузки дисперсные материалы

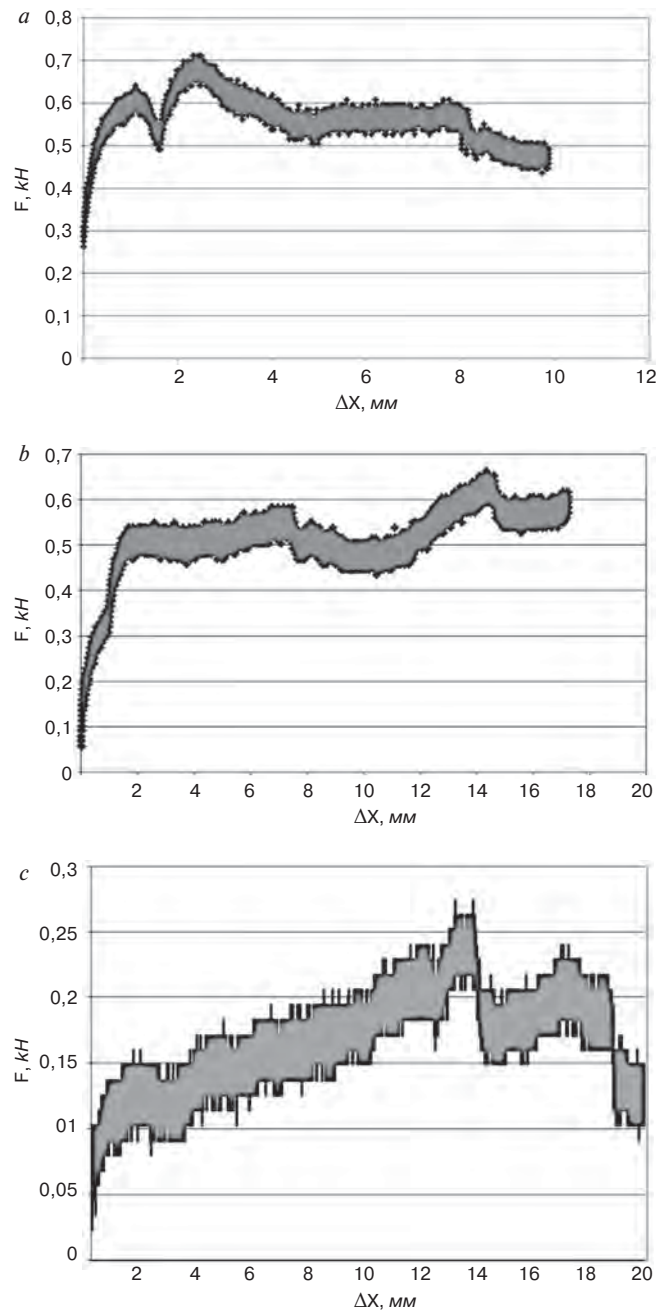


Рис. 6. Диаграммы, полученные при испытании образцов с оболочками: а – 12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 50 мкм PE-LD + защитный слой из стеклопластика; б – 12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 50 мкм PE-LD; в – 50 мкм PA/50 мкм PE

Fig. 6. Diagrams obtained when testing samples with shells: а – 12 μm PETmet / 12 μm PETmet / 12 μm PETmet / 50 μm PE-LD + protective layer made of fiberglass; б – (12 μm PETmet / 12 μm PETmet / 12 μm PETmet / 50 μm PE-LD); в – 50 μm RA / 50 μm PE

не могут эффективно воспринимать нагрузку. Однако при наличии вакуума внутри панели появляется возможность воспринимать сжимающие и сдвигающие нагрузки.

С целью определения модуля сдвига вакуумных теплоизоляционных панелей были изготовлены образцы размером 100×100×10 мм с наполнителем на основе пирогенного микрокремнезема, упакованного в три вида оболочек: 50 мкм PA/50 мкм PE;



12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 50 мкм PE-LD; 12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 50 мкм PE-LD + защитный слой из стеклопластика. Образцы закреплялись с помощью клея COSMO CA-500.200 к металлической пластине, опорной с одной стороны и с другой стороны к пластине, через которую передавалась нагрузка на панель от пресса. Схема нагружения ВИП показана на рис. 5.

Значение модуля сдвига определялось по формуле:

$$G = \frac{FI}{A\Delta X}, \quad (8)$$

где  $A$  – площадь, на которую действует сила;  $F$  – действующая сила,  $\Delta X$  – смещение;  $I$  – начальная длина.

Результаты испытаний на сдвиг вакуумных панелей представлены на рис. 6 и в табл. 4.

Как видно из полученных результатов, модуль сдвига вакуумной теплоизоляционной панели зависит как от состава наполнителя панели, так и от характеристик оболочки панели. Наиболее высокие результаты показали образцы с металлизированными оболочками. Однако если происходит прокол оболочки панели, то вся конструкция перестает работать на сдвиг.

#### Список литературы

1. Селяев В.П., Неверов В.А., Осипов А.К. и др. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе вакуумированных дисперсных порошков микрокремнезема и диатомита. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. 220 с.
2. Данилевский Л.Н. Вакуумная теплоизоляция и перспективы ее использования в строительстве // *Архитектура и строительство*. 2006. № 5. С. 114–117.
3. Schwab H., Wachtel J., Heinemann U., Beck A., Fricke J. Vakuum isolations paneele unter baupraktischen Bedingungen. *I Conference "VIP-Bau", proceedings*. Rostock-Warnemünde, 2003. pp. 68–76.
4. Simmler H., Brunner S., Heinemann U., Schwab H., Kumaran K., Mukhopadhyaya P., Quénard D., Sallée H., Noller K., Küçükpinar-Niarchos E., Stramm C., Tenpierik M.J., Cauberg J.J. M., Erb M. Vacuum insulation panels. Study on VIP-components and panels for service life prediction of VIP in building applications (Subtask A): IEA/ECBCS Annex 39 High Performance Thermal Insulation (HiPTI). 2005. 159 p.
5. Селяев В.П., Неверов В.А., Нурлыбаев Р.Е., Селяев П.В., Кечуткина Е.Л., Лияскин О.В. Синтез нанопорошков аморфного диоксида кремния для строительной отрасли // *Строительные материалы*. 2019. № 11. С. 15–25. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-776-11-15-25>
6. Селяев В.П., Куприяшкина Л.И., Киселев Н.Н., Селяев П.В. Оптимизация состава наполнителя

#### Выводы

Экспериментальными исследованиями свойств ВИП установлено, что диаграмма деформирования ВИП имеет вид, характерный для материалов, самоупрочняющихся в процессе нагружения сжимающей нагрузкой, и адекватно описывается функцией Г.В. Бюльфингера. Предложена методика для определения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$ , позволяющих верифицировать аппроксимирующую функцию по экспериментальным данным. Определены механические свойства: прочность при сжатии, модули деформаций (упругости, секущий). Разработаны полиномиальные модели, описывающие зависимость модуля упругости, прочности, коэффициента теплопроводности от состава и количественного соотношения волокнистых и порошковых наполнителей. Установлено, что численные значения модулей деформаций зависят от вида, количества порошкового наполнителя, их соотношения с волокнистым наполнителем. Значения модулей деформаций, прочности увеличиваются с повышением содержания и крупности частиц наполнителя. Разработана методика определения модуля сдвига для ВИП. Экспериментально установлено, что величина модуля сдвига для ВИП зависит как от состава наполнителя, так и от характеристик пленочной оболочки панели.

#### References

1. Selyaev V.P., Neverov V.A., Osipov A.K. and others. *Tepliozolyatsionnyye materialy i izdeliya na osnove vakuumirovannykh dispersnykh poroshkov mikroremnezema i diatomita* [Heat-insulating materials and products based on evacuated dispersed powders of silica fume and diatomite]. Saransk: Publishing house of the Mordovian university. 2013. 220 p.
2. Danilevsky L.N. Vacuum insulation and prospects for its use in construction. *Arkitektura i stroitel'stvo*. 2006. No. 5, pp. 114–117. (In Russian).
3. Schwab H., Wachtel J., Heinemann U., Beck A., Fricke J. Vakuum isolations paneele unter baupraktischen Bedingungen. *I Conference "VIP-Bau", proceedings*. Rostock-Warnemünde. 2003, pp. 68–76.
4. Simmler H., Brunner S., Heinemann U., Schwab H., Kumaran K., Mukhopadhyaya P., Quénard D., Sallée H., Noller K., Küçükpinar-Niarchos E., Stramm C., Tenpierik M.J., Cauberg J.J. M., Erb M. Vacuum insulation panels. Study on VIP-components and panels for service life prediction of VIP in building applications (Subtask A): IEA/ECBCS Annex 39 High Performance Thermal Insulation (HiPTI). 2005. 159 p.
5. Selyaev V.P., Neverov V.A., Nurlybaev R.E., Selyaev P.V., Kechutkina E.L., Liyaskin O.V. Synthesis of amorphous silicon dioxide nanopowders for the construction industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 11, pp. 15–25. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-776-11-15-25>

- вакуумной теплоизоляционной панели на основе пирогенного микрокремнезема // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2017. № 5 (701). С. 36–42.
7. Simmler H., Brunner S. Aging and Service Life of VIP in Buildings. *7th International Vacuum Insulation Symposium*. Empa, Duebendorf-Zurich, Switzerland. September 28–29, 2005, pp. 15–22.
  8. Лияскин О.В., Киселев Н.Н., Маштаев О.Г. Вакуумные теплоизоляционные панели. *Эффективные строительные конструкции: теория и практика: Сборник статей XV Международной научно-технической конференции*. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2015. С. 108–111.
  9. Селяев В.П., Осипов А.К., Куприяшкина Л.И., Седова А.А., Кечуткина Е.Л., Супонина Л.А. Возможность создания теплоизоляционных материалов на основе наноструктурированного микрокремнезема из диатомита // *Наука: 21 век*. 2011. № 3 (15). С. 76–86.
  10. Caps R., Hetfleisch J., Rettelbach Th., Fricke J. Thermal Conductivity of spun glass fibers as filler material for vacuum insulations. *Thermal Conductivity 23*. 1996, pp. 373–382.
  11. Патент РФ 2144595. *Вакуумное теплоизоляционное изделие* / Кокоев М.Н., Федоров В.Т. Заявл. 26.11.97. Опубл. 20.01.00.
  12. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов: Справ. кн. Л.: Энергия, 1974. 264 с.
  13. Селяев П.В., Киселев Н.Н., Лияскин О.В. Принципы создания порошковой теплоизоляции на основе микрокремнезема // *Региональная архитектура и строительство*. 2016. № 3 (28). С. 55–59.
  14. Миневиц В.Е., Никифоров Е.А., Виницкий А.Л. и др. Высокоэффективные теплоизоляционные материалы на диатомитовой основе // *Строительные материалы*. 2012. № 11 (695). С. 18–22.
  15. Дульнев Г.Н., Сигалова Г.В. Теплопроводность моно- и полидисперсных зернистых материалов // *Строительная теплофизика*. 1966. С. 40–47.
  6. Selyaev V.P., Kupriyashkina L.I., Kiselev N.N., Selyaev P.V. Optimization of the filler composition of a vacuum thermal insulation panel based on fumed silica fume. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2017. No. 5 (701), pp. 36–42. (In Russian)
  7. Simmler H., Brunner S. Aging and service life of VIP in buildings. *7th International Vacuum Insulation Symposium*. Empa, Duebendorf-Zurich, Switzerland. September 28–29, 2005, pp. 15–22.
  8. Liyaskin O.V., Kiselev N.N., Mashtaev O.G. Vacuum insulation panels. *Effective building structures: theory and practice: collection of articles of the XV International scientific and technical conference*. Penza. 2015, pp. 108–111. (In Russian).
  9. Selyaev V.P., Osipov A.K., Kupriyashkina L.I., Sedova A.A., Kechutkina E.L., Suponina L.A. The possibility of creating heat-insulating materials based on nanostructured silica fume from diatomite. *Nauka: 21 vek*. 2011. No. 3 (15), pp. 76–86. (In Russian).
  10. Caps R., Hetfleisch J., Rettelbach Th., Fricke J. Thermal conductivity of spun glass fibers as filler material for vacuum insulations. *Thermal Conductivity 23*. 1996, pp. 373–382.
  11. Patent RF 2144595. *Vakuumnoye teploizolyatsionnoye izdeliye* [Vacuum thermal insulation product]. Kokoev M.N., Fedorov V.T. Declared 26.11.97. Published 20.01.00. (In Russian)
  12. Dulnev G.N., Zarichnyak Yu.P. *Teploprovodnost' smesey i kompozitsionnykh materialov* [Thermal conductivity of mixtures and composite materials]. Leningrad: Energiya. 1974. 264 p.
  13. Selyaev P.V., Kiselev N.N., Liyaskin O.V. Principles of creating powder thermal insulation based on silica fume. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2016. No. 3 (28), pp. 55–59. (In Russian).
  14. Minevich V.E., Nikiforov E.A., Vinitsky A.L. and others. Highly effective heat-insulating materials based on diatomaceous earth. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 11 (695), pp. 18–22. (In Russian).
  15. Dulnev G.N., Sigalova G.V. Thermal conductivity of mono- and polydisperse granular materials. *Stroitel'naya teplofizika*. 1966, pp. 40–47. (In Russian).

## СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА



### Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий

Балакшин Ю.З., Терехов В.А. М.: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ». 2012. 276 с.

В книге описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Описаны сырьевые материалы для производства цементно-песчаных изделий: песок, щебень, вяжущие и химические добавки.

Сформулированы специфические требования к сырьевым материалам, а также рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Чертежи и табличная информация облегчают восприятие материала. Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.

**Заказать литературу можно через редакцию, направив заявку по e-mail: [mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru), или оформить заказ на сайте [www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru)**

В.И. КОНДРАЩЕНКО, д-р техн. наук (kondrashchenko@mail.ru),  
А.В. САВИН, д-р техн. наук, проректор, Чжуан ВАН, аспирант (wssyzxxjyb@qq.com)

Российский университет транспорта (127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9)

## Композиционные подрельсовые основания. Конструкции

Обобщен мировой опыт применения подрельсовых оснований (шпал, мостовых и переводных брусьев), включая как традиционные конструкции из дерева, стали и железобетона, так и инновационные композиционные конструкции (пластиковые, композитные) на полимерных связующих. Обобщены типы конструкций композиционных подрельсовых оснований, нашедших применение или находящихся на стадии практической реализации, их особенности работы в пути, применяемые типы скреплений, а также типичные дефекты таких конструкций. Предложена классификация конструкций композиционных подрельсовых оснований. Обсуждаются история эволюции и тенденции их развития, которые могут служить ценным ориентиром для оптимизации конструкций, расширения их производства и применения на железнодорожном транспорте. На основе анализа более чем 120 литературных источников делается вывод о преимуществах композиционных подрельсовых оснований в техническом, экономическом и экологическом аспектах по мере обострения ресурсного и экологического кризиса, в условиях которого применение композиционных подрельсовых оснований становится перспективным направлением развития железнодорожной отрасли.

**Ключевые слова:** конструкции композиционных подрельсовых оснований, типы применяемых скреплений, дефекты конструкций, железнодорожные пути, шпалы, железнодорожный транспорт.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90179.

**Для цитирования:** Кондращенко В.И., Савин А.В., Чжуан Ван. Композиционные подрельсовые основания. Конструкции // *Строительные материалы*. 2020. № 10. С. 52–76. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-785-10-52-76>

V.I. KONDRASHCHENKO, Doctor of Science (Engineering) (kondrashchenko@mail.ru),  
A.V. SAVIN, Doctor of Science (Engineering), Chuang WANG, graduate student (wssyzxxjyb@qq.com)  
Russian university of transport (MIIT) (9, b. 9, Obraztsova Street, Moscow, 127994, Russian Federation)

### Composite Underrail Basements. Constructions

The article summarizes the world experience in the use of sub-rail bases (sleepers, bridge and switch ties), including their traditional structures made of wood, steel and reinforced concrete, as well as innovative composite structures (plastic, composite) based on polymer binders. The types of structures of composite sub-rail bases that have found application or are at the stage of practical implementation, their features of operation on the railway, the types of fasteners used, as well as typical defects of such structures are generalized. A classification of structures of composite sub-rail bases is proposed. The history of evolution and trends in their development, which can serve as a valuable guide for optimizing structures, expanding their production and application in railway transport, are discussed. Based on the analysis of more than 120 literature sources, it is concluded about the advantages of composite sub-rail bases in technical, economic and environmental aspects as the resource and environmental crisis worsens, in which the use of composite sub-rail bases becomes a promising direction for the development of the railway industry.

**Keywords:** structures of composite sub-rail bases, types of fasteners used, structural defects, railway tracks, sleepers, railway transport.

The research was carried out with the financial support of the RFBR in the framework of research project No. 19-38-90179.

**For citation:** Kondrashchenko V.I., Savin A.V., Chuang Wang. Composite underrail basements. Constructions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 10, pp. 52–76. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-785-10-52-76>

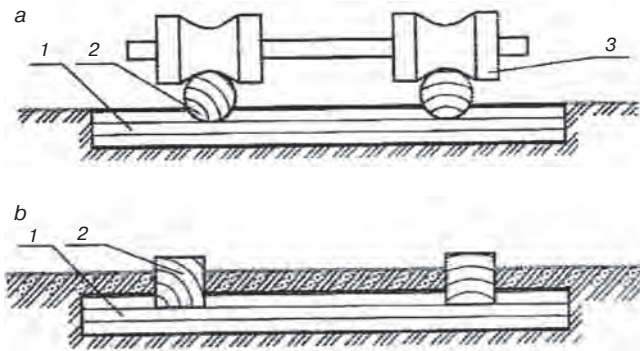
Подрельсовые основания как один из основных элементов верхнего строения железнодорожного (ж/д) пути выполняют ряд важных функций, таких как передача и распределение усилий от подвижного состава балластной призме, обеспечение требуемых параметров ж/д колеи, придание рельсошпальной решетке достаточного сопротивления продольному и поперечному сдвигу и ряд других, в том числе обеспечение в целом безопасности подвижного состава. При этом они подвергаются действию динамических нагрузок высокой интенсивности в сочетании с неблагоприятными, в ряде случаев имеющими экстремально высокие значения климатическими факторами в течение длительного эксплуатационного периода и другим многочисленным воздействиям, носящим зачастую случайный характер [1, 2].

Исторически появление подрельсовых оснований восходит к использованию еще в рудниках Средневековья поперечин в лежневой дороге – колеи из выступающих или врытых вровень с грунтом продольных деревянных брусьев. Продольные лежни служили направляющими и воспринимали основную нагрузку от транспортируемых по ним грузов, а поперечины были предназначены, как и современные их конструкции в виде шпал, для удерживания брусьев на расстоянии ширины хода транспортируемой тележки (рис. 1) [3, 4].

Деревянные лежни быстро изнашивались и их усиливали чугунными пластинами, а впоследствии корытообразными рельсами (рис. 2) [5].

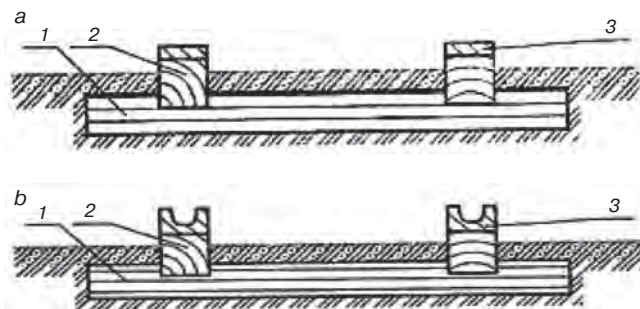
В России в 1788 г. на Александровском Онежском заводе в Петрозаводске была построена одна из первых металлических колеи с уголковыми рельсами –





**Рис. 1.** Лежневая дорога с лежнями без покрытия: круглого (а) и прямоугольного (1630 г.) (b) сечений; 1 – поперечный брус; 2 – лежень; 3 – колесная пара с желобами

**Fig. 1.** Lean road with unpaved slopes: round (a) and rectangular (1630) (b) sections; 1 – cross bar; 2 – bed; 3 – wheelset with grooves



**Рис. 2.** Лежневая дорога с покрытыми пластиной (а) (1767 г.) и корытообразным рельсом (b) лежнями; 1 – поперечный брус; 2 – лежень; 3 – чугунное покрытие

**Fig. 2.** Lean road with covered plate (a) (1767) and trough-shaped rail (b) stumps; 1 – cross bar; 2 – bed; 3 – cast iron coating

прообразами современных конструкций рельсов, движение по которым было в 12 раз легче, чем по грунтовым дорогам [3].

Рост осевых нагрузок и скоростей перемещения грузов привел к эволюции как рельсов, так и скрепляющих их в поперечном направлении элементов верхнего строения ж/д пути – современных шпал, мостовых и переводных брусьев.

В настоящее время во всем мире эксплуатируется около 1 млн 250 тыс. км ж/д путей, на которых уложено приблизительно 3 млрд шпал различного исполнения [6], и ежегодно из этого числа их большая часть заменяется из-за их физического износа поштучно или вместе с рельсошпальной решеткой при возникновении при эксплуатации недопустимых отклонений в других элементах ж/д пути, преимущественно вызванных износом рельсов.

Последнее обстоятельство в условиях перспектив дальнейшего развития ж/д транспорта при сокращении лесного массива крупноствольной древесины, особенно твердых пород, идущей на изготовление деревянных подрельсовых оснований, и повышенного износа как элементов верхнего строения ж/д пути, так и подвижного состава при использовании железобетонных (ж/б) подрельсовых оснований объясняет наметившийся в последние годы растущий спрос на новые их конструкции для технического обслуживания вновь строящихся или эксплуатиру-

щихся ж/д путей, особенно на участках с осложненными климатическими условиями эксплуатации, в кривых малого радиуса и магистралей, предназначенных под повышенные осевые нагрузки, что определяет в целом перспективный рынок для развития, в частности, шпального производства с использованием шпал новых конструкций, полученных по инновационным технологиям [7].

Подрельсовые основания, и в частности их наиболее массовый вид – шпалы, в зависимости от применяемых для их изготовления материалов подразделяются на традиционные (деревянные, ж/б и металлические) и композиционные (композитные, пластиковые).

Для изготовления композиционных подрельсовых оснований применяют разнообразные материалы. В частности, в качестве составляющих (компонентов) матрицы композиционных шпал используют вторичные отходы из пластика (полиэтилен сшитый, низкого и высокого давления, полипропилен, полистирол и т. д.), твердую полиуретановую пену, натуральный каучук, эпоксидную и фенолоформальдегидную смолы и т. д., а также комбинации из них [8–18]. Армирующими матрицу элементами при этом могут служить как искусственные (стекловолоконные, металлические, базальтовые, полиэфирные волокна, стеклоткани, ламинаты и пр.), так и натуральные (древесные, бамбуковые, кокосовые, из багасса и т. д.) волокна, а также щепы [9, 15–17, 19, 20–23]. Свойства матрицы модифицируют введением измельченных твердых промышленных отходов (шлак, измельченные изношенные шины, рубленые осколки старых стекловолоконистых полимерных композитов и др.) и минеральных наполнителей (карбонат кальция, графит, зола-уноса, сера, слюда и др.) [9, 11, 14, 17, 18, 24–30].

Расширение географии строительства железных дорог, способствующее разнообразию условий их эксплуатации, развитие технологий производства строительных материалов и появление на сырьевом рынке все возрастающих объемов техногенных отходов сопровождаются развитием технологий изготовления подрельсовых оснований, особенно композиционных [31–33].

Вследствие этого разрабатываются разнообразные конструкции подрельсовых оснований, имеющих определенные эксплуатационные характеристики в зависимости от климатических условий их применения, имеющейся в данном регионе сырьевой базы и области их применения – для городского ж/д транспорта, рудничных путей, обычного, скоростного и высокоскоростного ж/д пути, стандартного, узко- или ширококолейного пути, мостовых, стрелочных переводов и другого назначения.

#### Конструкция подрельсовых оснований из традиционных материалов

##### Подрельсовые основания из камня

Конструкция шпалы, примененная при строительстве первой в мире железной дороги с профилем



**Рис. 3.** Каменные блоки с металлическими крепежителями рельсов [34]  
**Fig. 3.** Stone blocks with metal rail fasteners [34]

рельса, максимально приближенным к его современным конструкциям, на так называемой Ливерпуль-Манчестерской железной дороге, которая была принята в эксплуатацию в 1830 г., состояла из пары каменных блоков, положенных на землю, с элементами в виде крепежителей (прообраз современных скрепленый ж/б шпал), удерживающими, с одной стороны, рельсы и с другой – передающими на грунтовое основание нагрузку от движущегося по ним транспорта (рис. 3) [34]. По мере того как увеличивалась поездная нагрузка, не связанные поперечинами камни не обеспечивали поддержания требуемой ширины ж/д колеи. Поэтому на смену им пришли деревянные шпалы, выполняющие роль, как и столетие назад, поперечин в виде деревянных брусков прямоугольного сечения [4].

#### *Деревянные подрельсовые основания*

История применения деревянных подрельсовых оснований насчитывает более 150 лет [4], и в настоящее время на мировых ж/д сетях уложено около 2,5 млрд деревянных оснований [35].

Конструкции деревянных подрельсовых оснований ж/д пути можно классифицировать на монолитную, полушпалы и рамочную (рис. 4).

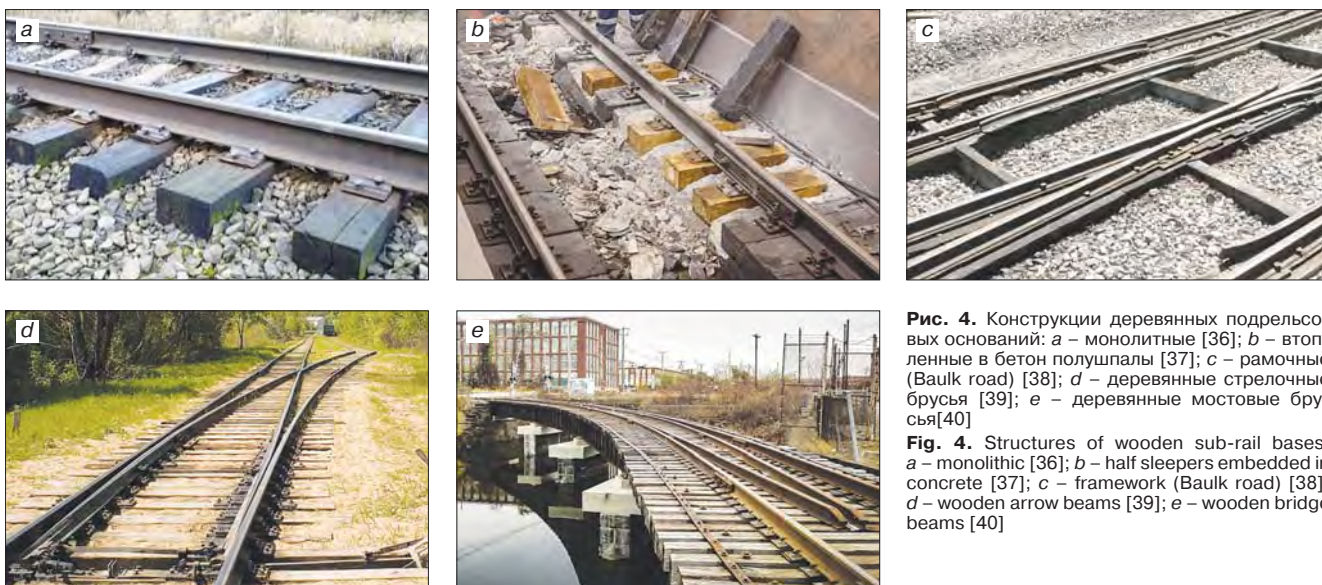
Деревянные брусья стрелочных переводов (рис. 4, *d*) и мостовые брусья (рис. 4, *e*) имеют форму прямоугольного параллелепипеда, но в отличие от шпал у них другие длины и размеры сечения, что обусловлено различными условиями их эксплуатации.

Из-за особенностей строения древесины обработка деревянных подрельсовых оснований в структуру с переменным поперечным сечением может привести только к ухудшению ее механических свойств и увеличению себестоимости конструкций, чем объясняется применение как на ранних этапах строительства ж/д пути, так и на современных железных дорогах таких конструкций только прямоугольного или близкого к нему (определяется способом обрезки) сечения (рис. 4, *a*).

Однако на участках метрополитена, на которых необходимо обеспечить водоотлив, особенно в тоннелях, находят применение вмонтированные в бетон деревянные полушпалы (рис. 4, *b*), чем обеспечивается упругость (мягкость хода) и стабильность колеи ж/д пути метрополитена [37]. Такая конструкция подрельсового основания иногда используется также там, где требуется легкий дренаж и обеспечение проходимости между рельсами машины технического обслуживания.

«Baulk road» – конструкция зародилась в Англии и представляет собой скрепленные поперечинами деревянные брусья [38]. При этом рельсы опираются непосредственно на деревянные продольные брусья, а ширина ж/д колеи обеспечивается поперечными деревянными балками прямоугольного сечения (рис. 4, *c*).

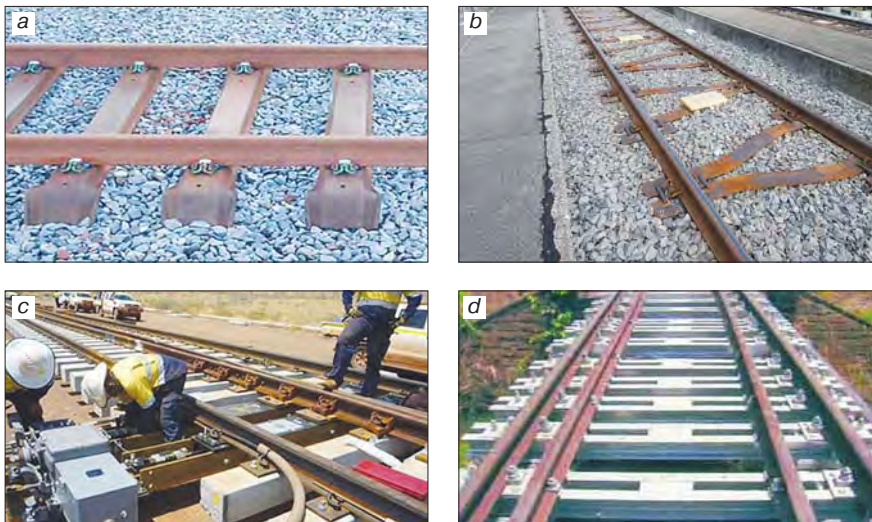
Простота технологии изготовления и доступность сырья обеспечили широкое использование деревянных подрельсовых оснований во всех областях ж/д транспорта, в том числе на трамвайном и метрополитеновском, крановом, узко- и ширококолейном пути, а также на ж/д путях промышленных площадок при небольших осевых нагрузках подвижного состава.



**Рис. 4.** Конструкции деревянных подрельсовых оснований: *a* – монолитные [36]; *b* – вмонтированные в бетон полушпалы [37]; *c* – рамочные (Baulk road) [38]; *d* – деревянные стрелочные брусья [39]; *e* – деревянные мостовые брусья [40]

**Fig. 4.** Structures of wooden sub-rail bases: *a* – monolithic [36]; *b* – half sleepers embedded in concrete [37]; *c* – framework (Baulk road) [38]; *d* – wooden arrow beams [39]; *e* – wooden bridge beams [40]





**Рис. 5.** Конструкции металлических подрельсовых оснований: *a* – шпалы традиционной конструкции в форме перевернутого желоба [41]; *b* – шпалы Y-образной конструкции [42]; *c* – стрелочный брус коробчатой пустотелой конструкции [43]; *d* – комбинированный мостовой брус [44]

**Fig. 5.** Structures of metal under-rail bases: *a* – arrow beam of box-shaped hollow structure [41]; *b* – sleepers of the Y-shaped structure [42]; *c* – arrow beam of box-shaped hollow structure [43]; *d* – combined bridge beam [44]

Деревянные подрельсовые основания также могут быть использованы для скоростных и высокоскоростных линий, однако из-за недостаточной массы для стабилизации пути, резкого сокращения лесных ресурсов, экологических проблем, вызванных применением антисептика, а также короткого срока службы таких конструкций и трудностей в обеспечении точности ж/д пути стальные и ж/б конструкции являются предпочтительными для этих линий.

#### Стальные подрельсовые основания

Европейские страны и Америка начали использовать стальные (металлические) подрельсовые основания в 80-х гг. XIX в. После этого разные страны в мире проделали большую работу по их внедрению в практику ж/д строительства, приобретая при этом богатый опыт. Стальные подрельсовые основания имеют разнообразное конструктивное исполнение и могут изготавливаться как прокатом, так и сваркой стальных профилей (рис. 5) [41–44].

Стальные перевернутые шпалы (рис. 5, *a*) традиционной конструкции в форме желоба при меньшей массе имеют низкое сцепление с балластным полотном и не обеспечивают равномерного распределения нагрузки на него от подвижного состава [41]. В то же время, несмотря на высокий уровень шума, что характерно для металлических оснований, ж/д путь на Y-образных стальных шпалах (рис. 5, *b*) из-за их большей площади опирания имеет как лучшую несущую способность, так и продольную и поперечную устойчивость, чем ж/д путь на стальных шпалах традиционной конструкции [42].

Стальные стрелочные брусья (рис. 5, *c*) работают хорошо в ж/д пути в краткосрочном периоде, но приводят к большей осадке полотна и ускоренному разрушению балласта в долгосрочной перспективе [43, 45, 46]. Кроме того, разработанные в Индии

комбинированные стальные мостовые брусья (рис. 5, *d*) также используются для замены деревянных брусьев на ж/д мостах с ездой без балласта [44]. Однако применение таких конструкций приводит к высокой вибрации и возникновению динамических напряжений большой интенсивности из-за их повышенной жесткости, чем определяется рациональное применение таких конструкций в основном на низконапряженных ж/д линиях.

В то же время стальные подрельсовые основания имеют такие преимущества, как высокая однородность физико-механических свойств материала конструкции и ее геометрических параметров, надежное обеспечение стабильности ширины колеи, легкость ремонта и высокий уровень утилизируемости, малая масса, что способствует уменьшению транспортных затрат, но снижает при этом сопротивление ж/д пути угону [47]. Однако такие конструкции подвержены коррозии и растрескиванию в зоне креплений от действия циклических поездных нагрузок.

Кроме того, высокий модуль упругости и жесткость такой конструкции приводят к значительным вибрациям, шуму в зоне эксплуатации ж/д пути и чрезмерному истиранию балластного щебня, приводящему к изменению характеристик балластной призмы и, как следствие, более частому проведению ремонтных работ.

Важной особенностью стальных подрельсовых оснований является их высокая электропроводность, что исключает их применение на электрифицированных участках ж/д пути, а также затрудняет применение ж/д автоматики и средств связи. Следовательно, стальные подрельсовые основания имеют ограниченную область применения, например под большие осевые нагрузки от разливочных ковшей на металлургических предприятиях, на неэлектрифицированных участках ж/д пути, а также они находят применение в ряде высокоиндустриальных стран с исторически сложившейся практикой их использования.

#### Железобетонные подрельсовые основания

После Второй мировой войны из-за нехватки древесины, появления бесстыкового пути и совершенствования технологии производства железобетона, в частности способов предварительного натяжения арматуры и, что важно для ж/б подрельсовых оснований, механического способа натяжения высокопрочной проволоки, подрельсовые основания из ж/б – шпалы, мостовые, брусья стрелочных переводов и плиты получили быстрое развитие и широкое применение на ж/д транспорте [1].





**Рис. 6.** Конструкции ж/б шпал: *a* – стандартная [48]; *b* – повышенной массы [49]; *c* – широкая [50]; *d* – повышенной эластичности [51]; *e* – низкопрофильная [52]; *f* – двухблочная [53]; *g* – рамочная [1, 54]; *h* – лестничная [55]; *i* – аэродинамическая [56]; *j* – регулируемая [57]

**Fig. 6.** Constructions of reinforced concrete sleepers: *a* – standard [48]; *b* – increased weight [49]; *c* – wide [50]; *d* – increased elasticity [51]; *e* – low profile [52]; *f* – two-block [53]; *g* – frame [1, 54]; *h* – staircase [55]; *i* – aerodynamic [56]; *j* – adjustable [57]

Железобетонным подрельсовым основаниям легко придать рациональную форму, отвечающую по их длине действующим в сечениях конструкции изгибающему моменту и поперечной силе, чем достигается экономия материальных ресурсов на их изготовление и объясняется конструктивное отличие в разных странах, определяемое величиной нормируемых осевых нагрузок.

На начальном этапе применения ж/б подрельсовые основания имели постоянное по длине прямоугольное сечение, затем для снижения массы, стоимости и увеличения сопротивления поперечному сдвигу ж/д пути их форма видоизменялась, приобретая более сложные очертания с изменяемым по длине конструкции поперечным сечением. В связи с этим, в частности, ж/б шпалы имеют широкий спектр конструктивных решений, включая шпалу стандартную, широкую, повышенной массы (тяжеловесную), повышенной эластичности, низкопрофильную,

двухблочную, рамочную, лестничную и другие конструкции вплоть до аэродинамической, каждая из которых имеет конструктивные особенности и определенную область применения (рис. 6).

Стандартная моноблочная шпала (рис. 6, *a*) имеет простую конструкцию, низкую стоимость, хорошие физико-механические характеристики, ее также отличает простота в изготовлении, укладке и обслуживании [48]. Она является самым широко используемым типом шпалы на малоделятельных, обычных и скоростных ж/д путях.

Железобетонная шпала повышенной массы (рис. 6, *b*) имеет больший размер, массу и площадь опирания на балласт и была сконструирована для тяжело нагруженных ж/д путей [49]. Такая шпала хорошо выдерживает высокие осевые поездные нагрузки, снижает износ верхнего строения ж/д пути, продлевая тем самым межремонтный период и снижая эксплуатационные расходы.

Таблица 1  
Table 1Сравнительные характеристики ж/б шпал [58, 59]  
Comparative characteristics of reinforced concrete sleepers [58, 59]

Тип конструкций	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>j</i>
Зрелость технологии	Зрелая	Средняя	Средняя	Зрелая	Средняя	Незрелая	Средняя	Средняя	Средняя	Незрелая
Упругость пути	Жесткая	Жесткая	Средняя	Упругая	Жесткая	Средняя	Жесткая	Средняя	Жесткая	Средняя
Динамическая характеристика	Средняя	Хорошая	Хорошая	Отличная	Средняя	Хорошая	Плохая	Хорошая	Средняя	Средняя
Равномерность распределения нагрузки	Средняя	Средняя	Очень хорошая	Хорошая	Средняя	Хорошая	Плохая	Хорошая	Средняя	Средняя
Масса конструкций	Средняя	Тяжелая	Тяжелая	Хорошая	Легкая	Тяжелая	Легкая	Легкая	Средняя	Средняя
Производственная себестоимость	Средняя	Дорогая	Очень дорогая	Средняя	Дешевая	Очень дорогая	Дешевая	Дорогая	Дорогая	Средняя
Объем работы обслуживания	Средний	Большой	Малый	Малый	Средний	Малый	Большой	Малый	Средний	Средний
Сложность обслуживания	Средняя	Средняя	Высокая	Низкая	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая	Средняя	Низкая
Вибрация и шум	Средние	Высокие	Средние	Низкие	Средние	Высокие	Высокие	Низкие	Низкие	Средние
<b>Примечание.</b> Буквенные обозначения конструкций ж/б шпал соответствуют приведенным на рис. 6.										

Широкая ж/б шпала (рис. 6, *c*) позволяет значительно снизить напряжения в балластной призме и нижнем основании пути, поскольку большая опорная зона обеспечивает снижение давления на балласт и равномерное его распределение на несущую поверхность [50]. Ее применение снижает вибрацию, увеличивает интервалы технического обслуживания и продлевает срок службы ж/д пути, в то же время требуя использования стабильного основания и надежного дренажа.

Железобетонная шпала повышенной эластичности (рис. 6, *d*) состоит из ж/б бруска с прикрепленной к его подошве эластичной подкладкой. Она снижает избыточную жесткость железобетона и улучшает сцепление между нижней поверхностью шпалы и балластом, снижая при этом истираемость щебня и способствуя сохранению стабильности свойств балластной призмы [51]. В большей степени такая конструкция подходит для ж/д пути, балластное полотно которого выполнено в виде жестких ж/б оснований, например на виадуках и в туннелях.

Конструкция низкопрофильной ж/б шпалы (рис. 6, *e*) близка по форме к прямоугольному параллелепипеду и имеет высоту, близкую к высоте деревянной шпалы. Такая шпала предназначена для замены (в случае их повреждения или износа) деревянных и стальных шпал в действующем ж/д пути [52]. Опыт ее применения вместо деревянных и стальных шпал показал, что такая замена приводит к повышению эксплуатационной надежности ж/д пути, удлинению его срока службы и снижению объема работ по его обслуживанию.

Двухблочная шпала (рис. 6, *f*) состоит из двух бетонных блоков, соединенных металлическим профильным элементом [53]. Благодаря большей в два раза их торцевой поверхности ж/д путь на таких шпа-

лах обладает большим боковым сопротивлением поперечному сдвигу и тем самым обеспечивается повышенная эксплуатационная безопасность ж/д пути. В то же время двухблочная шпала легче моноблочных конструкций, что отрицательно влияет на предотвращение вертикальных выбросов ж/д пути, ее затруднительно транспортировать и укладывать в путь.

Рамочная ж/б шпала (рис. 6, *g*) имеет большую площадь опоры на балластное полотно, что способствует снижению в нем напряжений и, как следствие, уменьшению деформации нижнего строения ж/д пути и сокращению объемов работ на его содержание [1, 54]. Себестоимость рамочной шпалы выше стандартной, но она с лихвой компенсируется снижением расходов на текущее обслуживание и замену балластного щебня. К недостаткам данной шпалы следует отнести повышенную массу, сложность конструкции, трудоемкость укладки и трудности при подбивке основания.

В лестничной конструкции ж/б шпалы (рис. 6, *h*) на продольные ж/б балки непосредственно укладываются рельсы, а цельность конструкции обеспечивается соединяющими их стальными поперечинами [55]. Такая ж/б шпала требует меньшего объема работ при их укладке в ж/д путь и пониженных затрат на его обслуживание в процессе эксплуатации, чем для моноблочных шпал, в то же время имеет относительно меньшую массу по сравнению с аналогичными малообслуживаемыми подрельсовыми ж/б основаниями. В сочетании с элементами для снижения вибрации и шума лестничная шпала при этом также в большей степени соответствует требованиям городского ж/д транспорта, например на виадуках.

Аэродинамическая ж/б шпала (рис. 6, *i*) была разработана в Испании для разрешения проблемы переноса вырываемого из балласта воздушным потоком



щебня на высокоскоростных ж/д путях, где скорость движения поездов может превосходить 300 км/ч [56].

Регулируемая ж/б шпала (рис. 6, *ж*) предназначена для замены деревянных шпал, пропитанных креозотом. Запрет на использование креозота в Евросоюзе требует от компаний железных дорог искать альтернативу пропитываемым им деревянным шпалам на второстепенных ж/д путях. Такая конструкция была разработана шведской компанией Abetong [57] с целью имитации деревянных шпал по всем соответствующим им геометрическим параметрам, что позволяет производить их точечную замену на регулировочную ж/б шпалу, применяемую также на уравнивательных участках.

Характеристики различных конструкций ж/б шпал приведены в табл. 1.

В настоящее время во всем мире ж/б шпалы находят преимущественное применение в бесстыковом ж/д пути, на тяжелонагруженных и высокоскоростных ж/д линиях. Однако из-за высокой жесткости ж/д пути на таких конструкциях их применение ограничено в следующих областях: а) на рудниках или в пустыне, когда из-за загрязнения балласта просыпающимся из вагонеток углем, перевозимой рудой или наносным песком жесткость ж/д пути резко возрастает; б) на ж/д мостах с ездой без балласта, на которых отсутствует балластное полотно и необходимая упругость ж/д пути обеспечивается применением шпал пониженной вертикальной жесткости.

Железобетонные брусья стрелочных переводов (рис. 7, *а*) широко применяются на высококлассных линиях вместо деревянных благодаря обеспечению лучшей устойчивости пути и более высокой точности его геометрических параметров, уменьшению напряжений в элементах стрелки, меньшему объему работ при эксплуатации, а также более продолжительному сроку службы.

На мостах ж/б брусья (рис. 7, *б*) применяются только при наличии балласта, и в отличие от обычной конструкции ж/б шпалы в их средней части устанавливаются контррельсы, для прикрепления которых предусматриваются в их конструкции специальные опоры и отверстия.

Отметим, что к ж/б подрельсовым основаниям относятся также безбалластные плиты на участках

земляного полотна (рис. 8, *а*) и плиты безбалластного мостового полотна (БМП) (рис. 8, *б*) [62, 63].

Основное достоинство таких плит заключается в возможности долговременно сохранять стабильность геометрических параметров пути при низких затратах на текущее содержание, значительно большем сроке службы, исключении вылета частиц балласта при большой скорости движения поездов, повышенной устойчивости бесстыкового пути, меньшем весе и меньшей строительной высоте, лучшей экологичности всего жизненного цикла (с учетом объемов выброса в атмосферу CO<sub>2</sub> при производстве цемента) и т. д. [64]. Однако такие конструкции имеют высокий уровень капитальных затрат на строительство, низкую ремонтпригодность, применение их на участках земляного полотна невозможно в сейсмоопасных районах и на слабом основании.

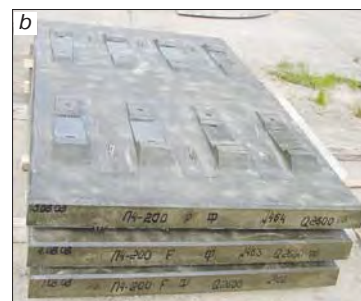
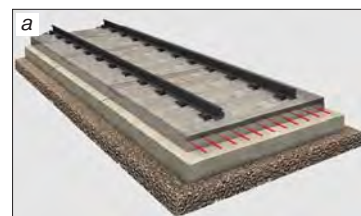
### Конструкция композиционных подрельсовых оснований

Первоначальная движущая сила развития композиционных подрельсовых оснований имела два аспекта: с одной стороны, применение деревянных шпал постепенно сокращается из-за резкого уменьшения лесных ресурсов с крупноразмерной древесиной и древесиной твердых пород, а также вредного для окружающей среды и живого мира применяемого для их обработки антисептика, при этом из-за разности в жесткости ж/б и стальных шпал по сравнению с деревянными существует проблема их совместного использования в ж/д пути; с другой стороны, на стальных ж/д мостах с ездой без балласта требуются брусья, обеспечивающие рациональную упругость мостового полотна при отсутствии балластной призмы, в то время как ж/б или стальные брусья непригодны к использованию в мостовых конструкциях подобного типа из-за их повышенной жесткости.

В связи с этим спрос на композици-



**Рис. 7.** Конструкции ж/б брусьев: а – ж/б брусья стрелочных переводов [60]; б – то же, мостовые [61]  
**Fig. 7.** Constructions of reinforced concrete beams: а – reinforced concrete beams of turnouts [60]; б – the same, bridge [61]



**Рис. 8.** Конструкции ж/б безбалластных плит: а – конструкция безбалластного пути на участке земляного полотна [62]; б – плиты безбалластного мостового полотна (БМП) [63]  
**Fig. 8.** Constructions of reinforced concrete without ballast slabs: а – construction of ballastless track on the section of the roadbed [62]; б – slabs of ballastless bridge deck [63]





**Рис. 9.** Конструкции однородных композиционных подрельсовых оснований с короткими волокнами: *a* – IntegriCo-композитная шпала [10]; *b* – то же, Axion [65]; *c* – то же, TieTek [66]; *d* – то же, I-PLAS [67]; *e* – то же, MPW [68]; *f* – то же, Tufflex [69]; *g* – то же, из натурального каучука [17]; *h* – Duratrack-полимерная шпала [70]; *i* – SICUT-пластиковая шпала [71]; *j* – мостовой пластиковый брус компании Tianjin Yanwen Weiye [72, 73]; *k* – пластиковая трамвайная шпала [74]; *l* – композитные шпалы производства компании TVEMA [8]

**Fig. 9.** Designs of homogeneous composite under-rail bases: *a* – IntegriCo-composite sleepers [10]; *b* – the same, Axion [65]; *c* – the same, TieTek [66]; *d* – the same, I-PLAS [67]; *e* – the same, MPW [68]; *f* – the same, Tufflex [69]; *g* – the same, made of natural rubber [17]; *h* – Duratrack-polymer sleepers [70]; *i* – SICUT-plastic sleeper [71]; *j* – plastic bridge beam of the Tianjin Yanwen Weiye company [72, 73]; *k* – plastic tram sleepers [74]; *l* – composite sleepers manufactured by TVEMA [8]

онные подрельсовые основания и расширение областей их применения на ж/д транспорте стали своеобразной реакцией на вызов ж/д системы в целом. Это способствовало тому, что разнообразные технологии изготовления композиционных шпал и брусьев получают интенсивное развитие и, как следствие, доля таких композиционных конструкций на мировых ж/д сетях постепенно повышается.

В настоящее время композиционные подрельсовые основания используются в различных типах ж/д путей – на городском ж/д транспорте, в обычном, скоростном и высокоскоростном пути, на стандартной, узко- и ширококолейной железной дороге, на

мостах с ездой без балласта и подъездных к ним участках, стрелочных переводах, рудниках, портах, а также на безбалластном ж/д пути.

По сравнению с традиционными конструкциями верхнего строения ж/д пути композиционные подрельсовые основания имеют ряд преимуществ, связанных с возможностью достижения компромиссных (по сравнению с мягкой, но малой массы конструкции из древесины, и тяжелой, но жесткой – из бетона) физико-механических характеристик, обеспечения экологической безопасности применения, высокой долговечности, их переработки и повторного использования полученного при этом сырья для



**Рис. 10.** Конструкции гомогенных композиционных подрельсовых оснований с длинными волокнами: а – консолидированные бамбуковые основания [22, 75]; б – SEKISUI FFU-синтетические основания [19]

**Fig. 10.** Constructions of homogeneous composite sub-rail bases with long fibers: a – consolidated bamboo bases [22, 75]; b – SEKISUI FFU-synthetic bases [19]

изготовления конструкций-аналогов, согласуясь тем самым с реализацией принципа-парадигмы устойчивого развития, в частности ж/д отрасли, с возможностью в значительной степени противостоять вызову современного техногенного общества за счет утилизации производимых им промышленных отходов при изготовлении композиционных шпал и брусев и др., что делает их все более и более конкурентоспособными и перспективными конструкциями.

Композиционные подрельсовые основания состоят из различных материалов, поэтому имеют хорошую конструктивность – возможность их создания с желаемыми внутренней структурой и внешней конфигурацией, что можно наблюдать на таком их самом распространенном представителе, как композиционные шпалы, которые по аналогии со всеми композиционными подрельсовыми основаниями будем подразделять на гомогенные и гибридные.

**Гомогенные композиционные подрельсовые основания**

Такие композиционные подрельсовые основания представляют собой композит, состоящий из полимерной матрицы с равномерно распределенными в ней армирующими элементами в виде дисперсных компонент, таких как минеральные частицы, древесная щепа, короткие или длинные волокна.

**Гомогенные композиционные подрельсовые основания, армированные короткими волокнами и/или щепой**

Данный тип композиционных подрельсовых оснований получают из первичных или переработанных вторичных полимеров (сшитый полиэтилен, полиэтилен низкого и высокого давления, полипропилен, поливинилхлорид, изношенные шины, натуральный каучук и т. д.) в смеси с различными наполнителями (песок, гравий, бой стекла, короткие стеклянные волокна длиной до 20 мм и т. д.). При этом свойства композиционного материала в таких подрельсовых основаниях в основном определяются свойствами полимера.

К этому виду композиционных подрельсовых оснований относятся такие их марки, как IntegriCo- [10], Axion- [65], TieTek- [66], I-PLAS- [67], MPW- [68], Tufflex-композитная шпала [69], а также шпалы из

натурального каучука [17], Duratrack-полимерная шпала [70], SICUT-пластиковая шпала [71] и др., конструкции которых показаны на рис. 9.

Подрельсовые основания данного типа изготавливаются преимущественно по экструзионной или литевой технологии с получением непрерывного бруса, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда. Благодаря высокой производительности, простой конструкции и низкой цене сырьевых материалов гомогенные подрельсовые основания имеют низкую себестоимость, что предопределяет их высокую рыночную привлекательность.

Кроме того, подрельсовые основания данного типа обладают такими преимуществами, как хорошая упругость конструкции, низкое влияние на истираемость балластного щебня при наличии хорошего контакта с ним, определяющим высокую сдвигоустойчивость ж/д пути, удовлетворительную коррозионную стойкость, простоту перевозки и укладки и пр., что предопределяет перспективу их широкого применения на большинстве участков балластных ж/д путей.

Однако из-за большого содержания полимерного связующего при низком количестве армирующих матрицу включений недостатком таких конструкций является относительно большой коэффициент линейного температурного расширения, что ограничивает их применение в регионах с большим перепадом межсезонной температуры.

**Гомогенные композиционные подрельсовые основания, армированные длинными волокнами**

К данному типу относятся композиционные шпалы/брусья, состоящие из полимерной матрицы (твердая полиуретановая пена, эпоксидная смола, фенолоформальдегидная смола или другие термореактивные смолы) и включений в виде волокон длиной 20 и более миллиметров (стекловолокно, бамбуковые, древесные волокна и др.).

Расположение длинных волокон в полимерной матрице может совпадать [19, 22] или отличаться [18] от направления продольной оси конструкции, формируя тем самым зависимость физико-технических свойств композита вдоль конструкции от свойств волокон, а в перпендикулярном к продольной оси на-





**Рис. 11.** Конструкции гибридных композиционных подрельсовых оснований: *a* – Greenrail-шпалы из ж/б сердцевин с полимерной оболочкой [11]; *b* – консолидированный бамбуковый брус, армированный четырьмя стержнями [76]; *c* – то же, KLP-мостовой брус [77]; *d* – KLP-композитная шпала, армированная двумя стержнями [78]; *e* – полые полимерные профили, заполненные геополимерным бетоном [79]; *f* – композитная шпала с деревянными брусками [80]; *g* – стальной желоб, заполненный бетоном [81]; *h* – мостовые брусья из клееных деревянных досок, усиленных четырьмя арматурными стержнями [82]; *i* – шпала из клееных деревянных досок и полимербетона [31]; *j* – пластиковая шпала, армированная полым металлическим брусом [83]; *k* – композиционный ламинированный мостовой брус из древесины [18]; *l* – композитная шпала, армированная двумя деревянными брусками [83]; *m* – ламинированный композитный мостовой брус из полимера, стеклотекстиля, багасы и шелухи какао [23]; *n* – сечение композиционной шпалы, состоящей из полимербетонной матрицы (1), армирующей стеклотекстиля (2) и древесного наполнителя (3) [84]; *o* – Permal Wallace-пластиковый мостовой брус, армированный волокнами [85]; *p* – композиционная шпала из полимербетона и стекловолокна [86]; *q* – шпала из композитных сэндвич-панелей, стекловолокна и смолы [31]; *r* – деревянная шпала, покрытая полиуретановым эластомером [87]; *s* – шпала из деревянной сердцевинки и стеклокомпозита [88]; *t* – шпала из ж/б и полимербетона в форме волны [89]; *u* – безбалластное мостовое полотно (I) и мостовой брус (II) из композитных материалов [90]; *v* – поперечное (I) и продольное сечения (II) композиционного основания, армированного двумя и четырьмя бамбуковыми стержнями [91, 92]

**Fig. 11.** Structures of hybrid composite under-rail bases: *a* – Greenrail-sleepers made of reinforced concrete core with a polymer sheath [11]; *b* – consolidated bamboo beam, reinforced with four rods [76]; *c* – the same, KLP-bridge beam [77]; *d* – KLP-composite sleeper reinforced with two rods [78]; *e* – hollow polymer profiles filled with geopolymer concrete [79]; *f* – composite sleeper with wooden beams [80]; *g* – steel gutter filled with concrete [81]; *h* – bridge beams made of glued wooden boards, reinforced with four reinforcing rods [82]; *i* – sleeper made of glued wooden boards and polymer concrete [31]; *j* – plastic sleeper reinforced with a hollow metal bar [83]; *k* – composite laminated bridge beam made of wood [18]; *l* – composite sleeper reinforced with two wooden bars [83]; *m* – laminated composite bridge beam made of polymer, fiberglass mesh, bagasse and cocoa husk [23]; *n* – is the cross-section of a composite sleeper consisting of a polymer-concrete matrix (1), a reinforcing fiberglass mesh (2) and a wood filler (3) [84]; *o* – Permal Wallace – fiber-reinforced plastic pavement beam [85]; *p* – composite sleeper made of polymer concrete and fiberglass [86]; *q* – sleepers made of composite sandwich panels, fiberglass and resin [31]; *r* – wooden sleeper covered with polyurethane elastomer [87]; *s* – sleepers made of wood core and glass composite [88]; *t* – sleeper made of reinforced concrete and polymer concrete in the form of a wave [89]; *u* – ballastless bridge deck (I) and bridge beam (II) made of composite materials [90]; *v* – transverse (I) and longitudinal sections (II) of a composite base, reinforced with two and four bamboo rods [91, 92]



правлении – преимущественно от свойств полимера. К данному виду подрельсовых оснований относятся консолидированные бамбуковые и SEKISUI FFU-синтетические основания (рис. 10).

Подрельсовые основания данного типа изготавливают по прессовой (рис. 10, *a*) и пултрузионной (рис. 10, *b*) технологии, чем обеспечивается ее прямоугольное сечение и расположение длинных волокон параллельно с продольной осью конструкции [19, 22]. Подрельсовые основания данного типа имеют более высокую прочность и модуль упругости при изгибе, более низкий коэффициент линейного температурного расширения, чем у изделий первого типа. В связи с этим, хотя у них при этом и выше цена, что обусловлено применяемыми материалами и технологией, такие конструкции могут применяться в районах с большими перепадами температуры и ж/д высококлассных линиях, где требования к геометрическим параметрам ж/д колеи более высокие, а также на стальных ж/д мостах с ездой без балласта, где требуется высокое сопротивление сдвигающей силе и изгибающему моменту.

**Гибридные композиционные подрельсовые основания**

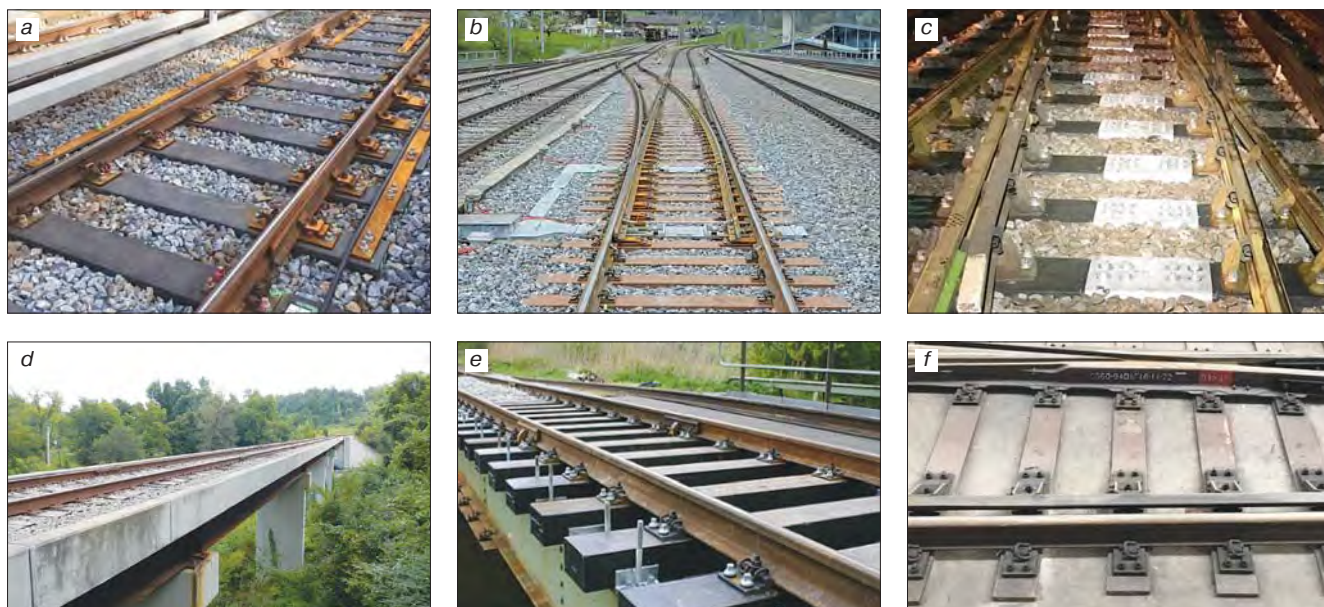
Хотя некоторые типы однородных композиционных подрельсовых оснований (особенно армированные короткими волокнами или без них) находят применение в ж/д пути, у них по-прежнему существуют такие проблемы, как плохое обеспечение стабильности ширины ж/д колеи в условиях большого температурного перепада, недостаточные физико-механические показатели для их повсеместного применения, например в качестве мостовых брусьев, высокая стоимость и некоторые другие.

Гибридные композиционные подрельсовые основания – это конструкции верхнего ж/д пути из композитных материалов, в которых один или несколько видов дискретных армирующих элементов (ж/б балки [11], арматура [76–78], полые профили [79], деревянные бруски [80], стальной желоб [81], панели [82, 32] и т. д.) комбинируются с однородными полимерными композитами (рис. 11).

Сочетание однородных полимерных композитов с армирующими элементами способствует улучшению эксплуатационных свойств подрельсовых оснований. Благодаря их наличию такие изделия имеют более высокое сопротивление изгибу и действию поперечной силы, чем однородные композиционные подрельсовые основания, и больше подходят для применения на ж/д мостах с ездой без балласта, где требуется вязкое разрушение изделий для обеспечения безопасности ж/д сообщения.

Однако такие конструкции подрельсовых оснований нецелесообразно изготавливать по экструзионной технологии, определяя тем самым более низкую производительность их производства.

Тем не менее современный уровень развития технологий по производству строительных изделий позволяет изготавливать такие подрельсовые основания оптимизированной конструкции с учетом их напряженно-деформированного состояния в ж/д пути от действия поездных нагрузок и получать изделия с изменяющимся сечением по их длине, обеспечивая экономию материала, а следовательно, и снижение их себестоимости и, что важно для безопасности железных дорог, более высокую стабильность ширины ж/д колеи при значительных перепадах температуры в отличие от большинства однородных конструкций.



**Рис. 12.** Виды и способы опирания композиционных оснований: *a* – опирание композиционных шпал на балласт [13]; *b* – то же, FFU-композиционных переводных брусьев [19]; *c* – то же, Sicut-композиционного бруса, полученного стыковой через накладки композиционных шпал [95]; *d* – то же, композиционных шпал на ж/б мосту [96]; *e* – мостовой композиционный брус на продольных балках металлического моста [97]; *f* – утопленные в бетон композиционные шпалы [98]

**Fig. 12.** Types and methods of supporting composite bases: *a* – supporting composite sleepers on ballast [13]; *b* – the same, FFU-composite translation beams [19]; *c* – the same, Sicut-composite beam obtained through the lining of composite sleepers [95]; *d* – the same for composite sleepers on a reinforced concrete bridge [96]; *e* – bridge composite beam on the longitudinal beams of the metal bridge [97]; *f* – composite sleepers embedded in concrete [98]

Таблица 2  
Table 2Интенсивность усилий, воспринимаемых шпалой  
в зависимости от типа опирания  
The intensity of the efforts taken by the sleeper depending  
on the type of support

Усилие в конструкции основания	Опираие конструкции основания			
	На балласт		На балки моста	На ж/б плиту
	Основной путь	Стрелочный перевод		
Поперечная сила	Средняя	Выше средней	Большая	Низкая
Изгибающий момент	Средняя	Выше средней	Большая	Низкая

Армированием гомогенного полимерного композита в гибридных композиционных подрельсовых основаниях на макроуровне обеспечивается их важное преимущество, достигаемое за счет сочетания высокопрочных и упругих армирующих элементов с высокоэластичной гомогенной полимерной матрицей, свойствами которых (упругостью, прочностью, коэффициентом линейного температурного расширения и др.) можно управлять в широком диапазоне. Это позволяет более полно реализовать идею достижения композиционного эффекта и получить конструкции невысокой себестоимости при высоких показателях прочности при изгибе, сопротивляемости сдвигу и циклическим воздействиям нагрузки, управляемой величиной ползучести, приемлемой величиной коэффициента линейного температурного расширения и др., обеспечивая конструкции ж/д подрельсового основания вязкий тип разрушения при их высокой эксплуатационной способности.

С другой стороны, в данном типе конструкций реализуется комбинация разнородных материалов в виде композита и на микроуровне, как и в гомогенных композиционных подрельсовых основаниях, тем самым реализуя композиционный эффект на двух уровнях – макро- и микроуровне, давая более универсальный инструмент для улучшения физико-технических и технико-экономических характеристик подрельсового основания.

Благодаря улучшенным технико-экономическим показателям при хорошей их экологичности данный тип композиционных изделий может применяться при более сложных эксплуатационных условиях, в том числе в регионах с резкими изменениями температуры, на мостах с ездой без балласта и пр. Однако для некоторых изделий такого типа существует проблема их низкой атмосферостойкости из-за выхода растительных волокон на поверхность конструкций, что требует использования дополнительных технологических операций по предварительной гидрофобной обработке волокон, нанесения специальных защитных покрытий на поверхность конструкции и др.

Несмотря на более сложную технологию изготовления гибридных композиционных подрельсовых оснований, они привлекают все большее внимание ученых и путейцев-практиков всего мира, которые рассматривают данный тип конструкций оснований как один из наиболее перспективных направлений их применения в ж/д отрасли, особенно на ж/д мостах с ездой без балласта.

#### Тип опирания композиционных шпал в ж/д путях

На железных дорогах существует три типа опирания подрельсовых оснований вообще и композиционных шпал в частности: на балластную призму (обычные пути и стрелочные переводы), на продольные балки металлических мостов и на безбалластные ж/б плиты (рис. 12) [93, 94].

Существующее многообразие конструкций композиционных подрельсовых оснований объясняется

как видом основы (щебеночный балласт, железобетон, балочные конструкции и др.), так и разнообразными условиями их опирания, которые могут существенно изменяться в процессе эксплуатации при циклическом воздействии нагрузок или выполнении работ по текущему содержанию ж/д пути (рис. 13).

При назначении рациональной конструкции брусьев стрелочных переводов (рис. 12, *b*) необходимо учитывать такие дополнительные факторы [32], как их большая, чем у шпалы, длина и иная схема действующих от подвижного состава нагрузок; более значительные ударные воздействия, передающиеся от колеса на рельс и воспринимаемые брусом; возникающие дополнительные центробежные силы и др. Однако на практике такие конструкции имеют, как правило, прямоугольное сечение, что позволило, например, компании Sicut получить конструкцию композиционного бруса стрелочного перевода простым соединением накладками композиционных шпал (рис. 12, *c*). Эффективность такого решения была подтверждена длительными эксплуатационными испытаниями [95].

На ж/д мостах шпала – мостовой брус, опирается на балласт (рис. 12, *d*) или на продольные балки, как правило, металлического моста (рис. 12, *e*). Отличия в схеме опирания и меньшая толщина балласта на мостах приводят к существенным различиям в величине и характере распределения изгибающего момента и поперечной силы по длине подрельсового основания (рис. 14). При этом схема опирания мостовых брусьев непосредственно на мостовые балки приводит к более высоким усилиям в сечениях конструкции основания (рис. 14, *Ib*, *Ic*), чем при опирании на балласт (рис. 14, *IIb*, *IIc*). Однако такая схема оправдана как рядом технологических особенностей эксплуатации подрельсовых конструкций на мостах, так и необходимостью обеспечения повышенной устойчивости движущегося по ж/д пути подвижного состава [100, 101].

Следствием существенного отличия условий работы подрельсовых оснований на мостах и в основном ж/д полотне является различное напряженно-деформированное состояние таких конструкций, к материалу которых будут предъявляться различные требования (табл. 2).



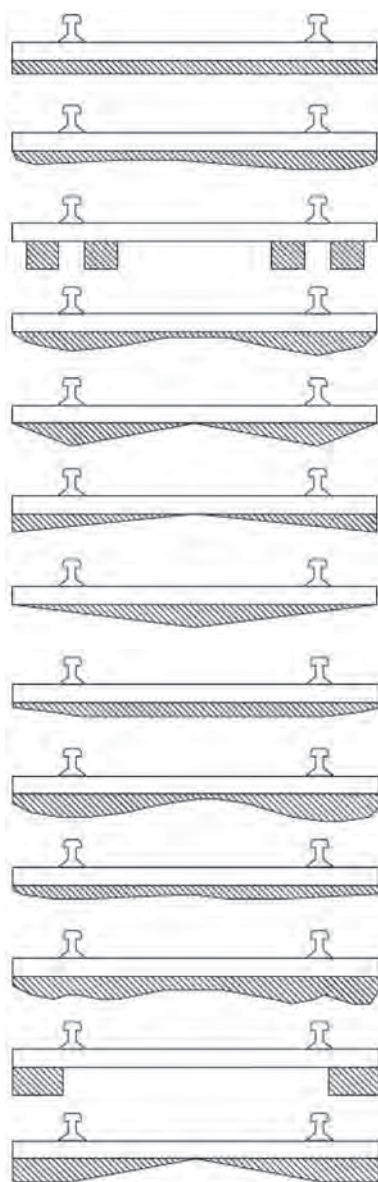


Рис. 13. Вариативность схем опирания шпал в ж/д пути в процессе их эксплуатации [99]

Fig. 13. The variability of the support schemes for sleepers in the railway track during their operation [99]

На безбалластные ж/б плиты (рис. 12, f) можно укладывать как моноблочные, так и двухблочные конструкции шпал с той особенностью, что при применении композиционной шпалы следует исключить возникновение трещин на нижней ее части из-за относительного перемещения постели вследствие существенного различия коэффициентов линейного температурного расширения железобетона и композиционного материала. В противном случае это будет приводить к микрорастрескиванию материала шпал с последующим появлением трещин и его разрушению под воздействием циклических и динамических нагрузок от подвижного состава, а также фазовых переходов затекающей в трещины воды при знакопере-

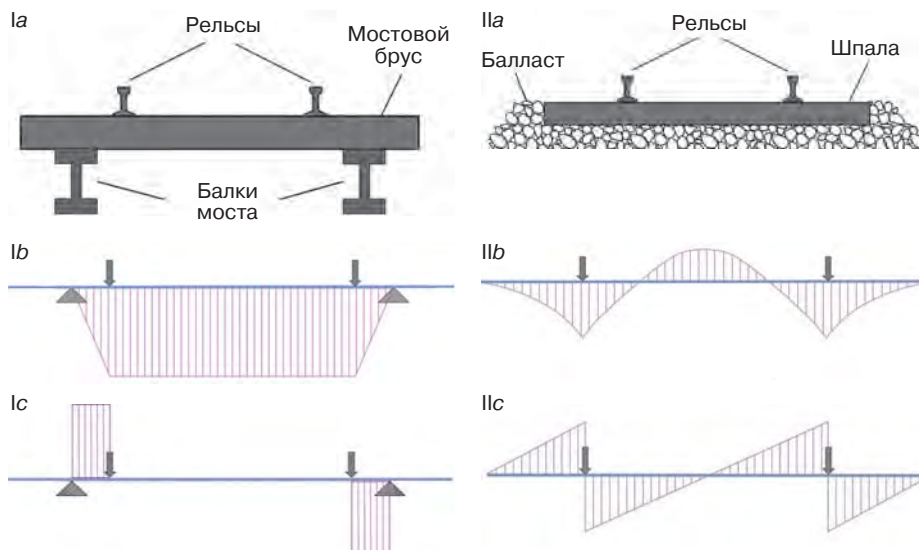


Рис. 14. Различие работы мостового бруса (I), опирающегося на продольные балки моста, и шпал (II) при их равномерном опирании на балласт [101]: а – схема опирания; б – эпюра изгибающих моментов; с – то же, поперечной силы

Fig. 14. Difference in the operation of the bridge beam (I), resting on the longitudinal beams of the bridge and sleepers (II) when they are uniformly supported on the ballast [101]: а – support scheme; б – diagram of bending moments; с – the same, shear force

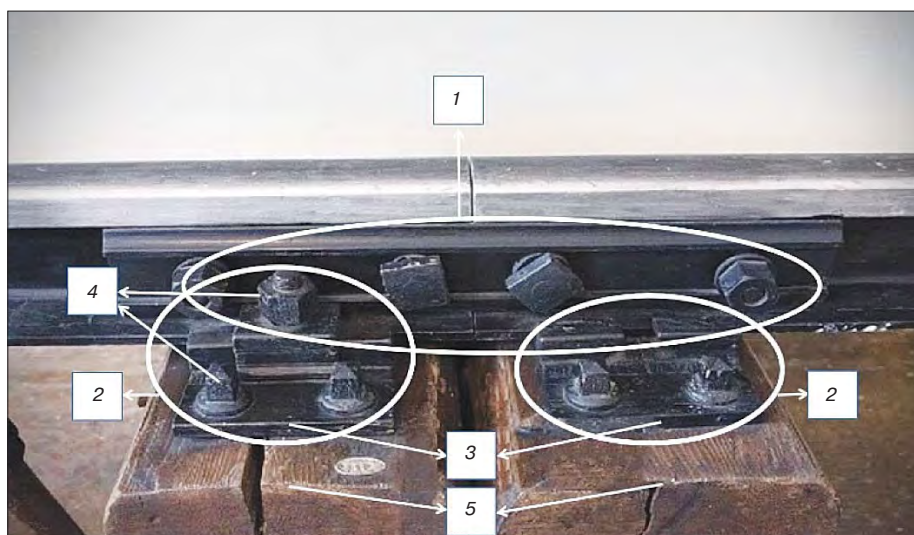


Рис. 15. Рельсовые скрепления [36]: 1 – скрепление стыковое; 2 – то же, промежуточное; 3 – подкладка; 4 – крепления; 5 – шпала

Fig. 15. Rail fastenings [36]: 1 – butt fastening; 2 – the same, intermediate; 3 – lining; 4 – fasteners; 5 – sleeper

менных температурных перепадах, приводящих к ухудшению состояния верхнего строения пути.

### Скрепления композиционных подрельсовых оснований

Рельсовые скрепления относятся к важнейшим элементам верхнего строения ж/д пути и предназначены для соединения рельсов между собой и/или с подрельсовыми основаниями – шпалами, мостовыми, переводными брусками и др., обеспечивая требуемую геометрию колеи, пространственную жесткость, эксплуатационную надежность железной дороги и выполнение некоторых других важных для обеспечения безопасности подвижного состава функций.

Скрепления подразделяются на два вида – стыковые и промежуточные (рис. 15). Применение стыковых креплений не зависит от вида подрельсовых оснований, что нельзя отнести к промежуточным креплениям.

На железных дорогах с композиционными подрельсовыми основаниями используются те же типы промежуточных креплений, которые применяются и на деревянных основаниях, что объясняется более близкими свойствами композитов и древесины. Поэтому конструкции промежуточных рельсовых креплений, прикрепляющих рельсы к композиционным подрельсовым основаниям, как и для деревянных шпал, также подразделяются на три типа – нераздельные, смешанные и раздельные [93, 102].

В нераздельном типе промежуточных креплений рельс вместе с металлической подкладкой прикрепляется к опоре одним и тем же элементом, в смешанном креплении рельс крепится к опоре через отверстие в подкладке одним элементом, а подкладка отдельно крепится к опоре другим элементом, в то время как в раздельном рельс прикрепляется к подкладке одним элементом, а уже подкладка вместе с рельсом крепится к опоре другим [93].

#### Нераздельные крепления

В нераздельных креплениях используются костыльные и шурупные прикрепительные элементы.

Костыльное крепление (рис. 16, *a*) применяют в основном на звеньевом ж/д пути. Главные преимущества такого крепления заключаются в его простоте, небольшой массе, удобстве при сборке и разборке рельсошпальной решетки, а основной недостаток связан с невозможностью длительного обеспечения

плотного прикрепления рельса с основанием из-за наддергивания костылей под поездной нагрузкой, что приводит к вибрации подкладок, ускоряющей износ шпал, и снижению сопротивляемости пути угону.

Таким образом, костыльные нераздельные промежуточные рельсовые крепления при простоте использования и незначительных первоначальных затратах отличаются низкой надежностью и долговечностью, что приводит к значительным текущим эксплуатационным затратам по содержанию ж/д пути.

Шурупное крепление (рис. 16, *b*) применяется главным образом в Западной Европе. По сравнению с костыльным креплением оно лучше прикрепляет рельс к шпале, имеет меньшую вибрацию подкладок, которая приводит к ускоренному разрушению опорной площадки деревянной шпалы, но при таком виде креплений снижается сопротивляемость угону ж/д пути и повышается трудоемкость при его перешивках. В то же время сопротивление шурупов выдергиванию в 1,5–2 раза больше, чем костылей, а отжатия – меньше примерно на 40–50% [104].

Описанное крепление относится к жесткому типу, что приводит при работе под подвижным составом к нарушению связи между рельсами и подрельсовым основанием и, как следствие, вызывает расстройство и повышенный износ элементов верхнего строения.

Для восприятия высоких динамических нагрузок, которыми характеризуется работа ж/д пути в условиях повышения нагрузки на ось и скоростей подвижного состава, необходимо обеспечить упругую связь между рельсом, подкладкой и опорой с постоянным прижатием рельса к подкладке. Поэтому в РФ и за рубежом разрабатывают разнообразные конструкции пружин-

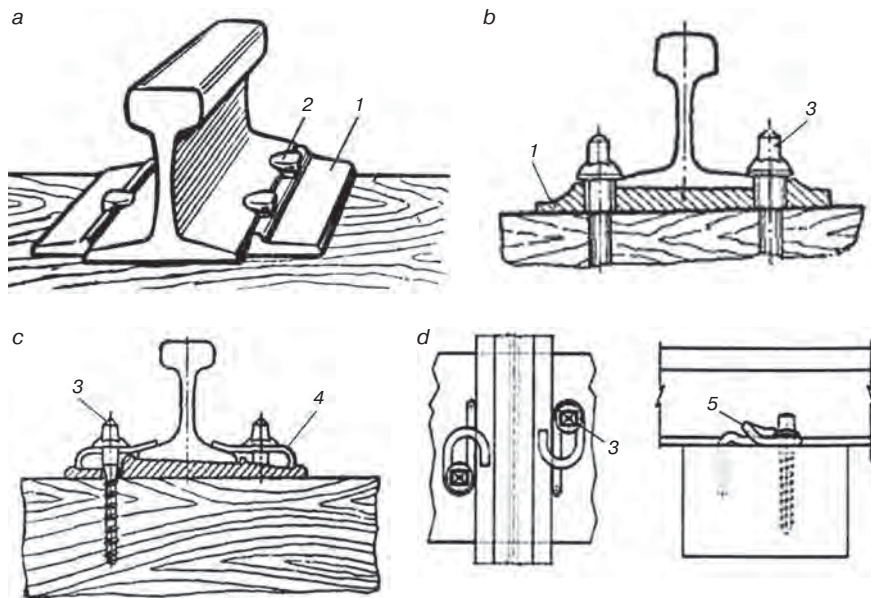


Рис. 16. Схема промежуточных рельсовых креплений нераздельного типа в ж/д пути с деревянными шпалами [83, 103]: *a* – костыльное; *b* – жесткое шурупное; *c* – шурупное с плоской клеммой; *d* – шурупное с витковой клеммой; 1 – подкладка; 2 – костыль; 3 – шуруп; 4 – плоская клемма; 5 – витковая клемма

Fig. 16. Scheme of intermediate rail fastenings of an inseparable type on a railway track with wooden sleepers [83, 103]: *a* – crutch; *b* – hard screw; *c* – screw with a flat terminal; *d* – screw with a coil terminal; 1 – lining; 2 – crutch; 3 – screw; 4 – flat terminal; 5 – turn terminal

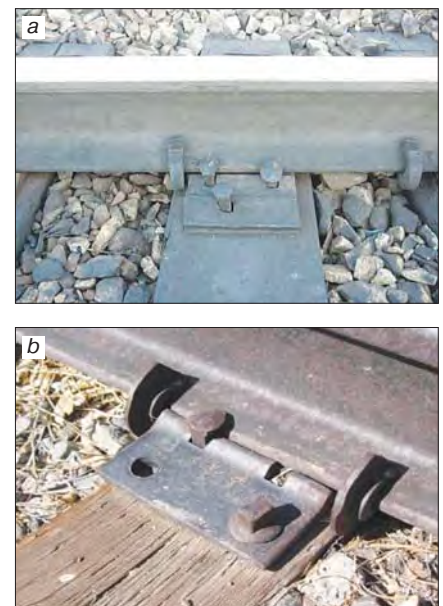


Рис. 17. Общий вид промежуточных рельсовых креплений смешанного типа в ж/д пути на деревянных шпалах [106]: *a* – костыльное; *b* – шурупно-костыльное

Fig. 17. General view of intermediate rail fastenings of mixed type in the railway track on wooden sleepers [106]: *a* – crutch; *b* – screw-crutch



ных креплений. В США имеются пружинные костыли, в Англии – крепления типа «Макбет», имеющие W-образную форму [105].

Прогрессивной конструкцией нераздельного скрепления, обеспечивающей плотное прижатие подкладки к шпале и упругое поглощение ударов, является шурупное скрепление с пружинящей плоской клеммой (рис. 16, *с*). Одной из разновидностей такого типа креплений является вариант, при котором витковая клемма одновременно выполняет функции прижатия и удержания в горизонтальной плоскости от продольного смещения рельса (рис. 16, *д*).

**Смешанные скрепления**

Смешанные скрепления для деревянных шпал имеют костыльное и шурупно-костыльное исполнение (рис. 17).

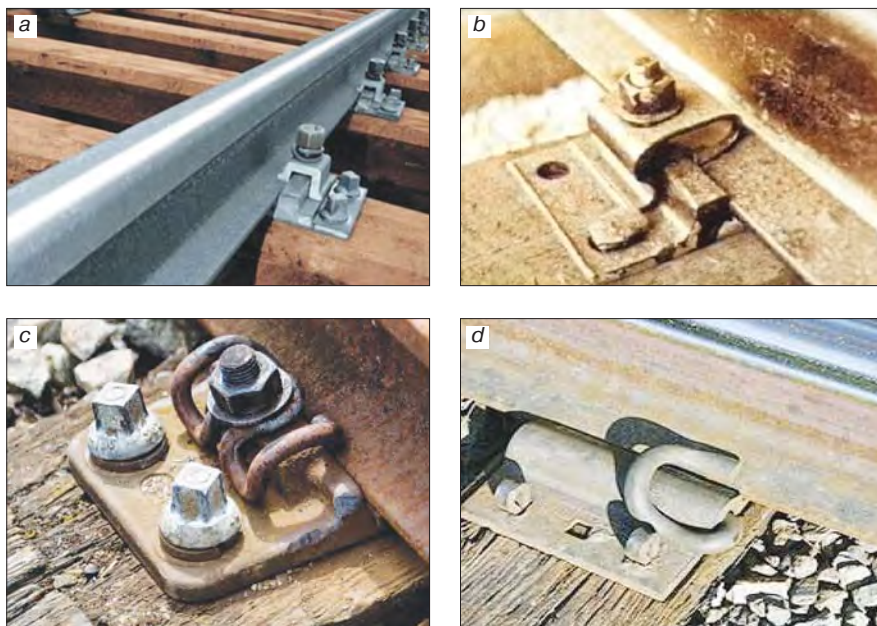
Такой вид рельсовых креплений существенно снижает вибрацию подкладок, они малодетальны, легче и дешевле отдельных. Основной их недостаток – низкая сопротивляемость угону пути. В то же время смешанные шурупно-костыльные скрепления (рис. 17, *б*) имеют существенно большую надежность по сравнению со смешанным костыльным креплением (рис. 17, *а*). Менее выгодно их применение по сравнению с отдельными креплениями и на ж/д пути высокой грузонапряженности из-за больших расходов на его текущее содержание.

**Раздельные скрепления**

Раздельные скрепления с шурупными крепежными элементами используются с жесткими и пружинными клеммами: в первом случае подкладка крепится к шпале четырьмя шурупами, а рельс к подкладке – двумя жесткими клеммами посредством болтов с пружинящими шайбами (рис. 18, *а*), а во втором отличие состоит в прикреплении рельса к подкладке болтами с пружинными плоскими (рис. 18, *б*), витковыми (рис. 18, *с*) клеммами или с упругой скобой (рис. 18, *д*).

Раздельные скрепления имеют ряд существенных достоинств: обеспечивается более стабильное прижатие рельсов к подкладке, уменьшается вибрация подкладок, появляется возможность заменять рельсы без снятия подкладок. В то же время имеются и недостатки, к которым относятся: многодетальность (например, крепление типа К имеет 14 деталей), большая металлоемкость (масса креплений типа К-4 к рельсам Р50 составляет 46% массы рельсов), большая трудоемкость при смене рельсов.

Наиболее предпочтительными для обеспечения долговечности и надежности эксплуатации ж/д пути



**Рис. 18.** Промежуточные рельсовые скрепления раздельного типа на ж/д пути с деревянными шпалами [107, 108]: *а* – шурупное с жесткой клеммой; *б* – скрепление с плоской клеммой; *с* – шурупное с витковой клеммой; *д* – костыльное с упругой скобой

**Fig. 18.** Intermediate rail fastenings of a separate type on the railway track with wooden sleepers [107, 108]: *a* – screw with a rigid clamp; *b* – fastening with a flat terminal; *c* – screw with a coil terminal; *d* – crutch with elastic bracket

на деревянных шпалах являются шурупные раздельные скрепления с упругой клеммой. Такие скрепления обеспечивают стабильное прижатие подошвы рельса к подкладке и уменьшают возможность продольного проскальзывания рельса, что уменьшает вероятность угона ж/д пути.

**Скрепления композиционных подрельсовых оснований**

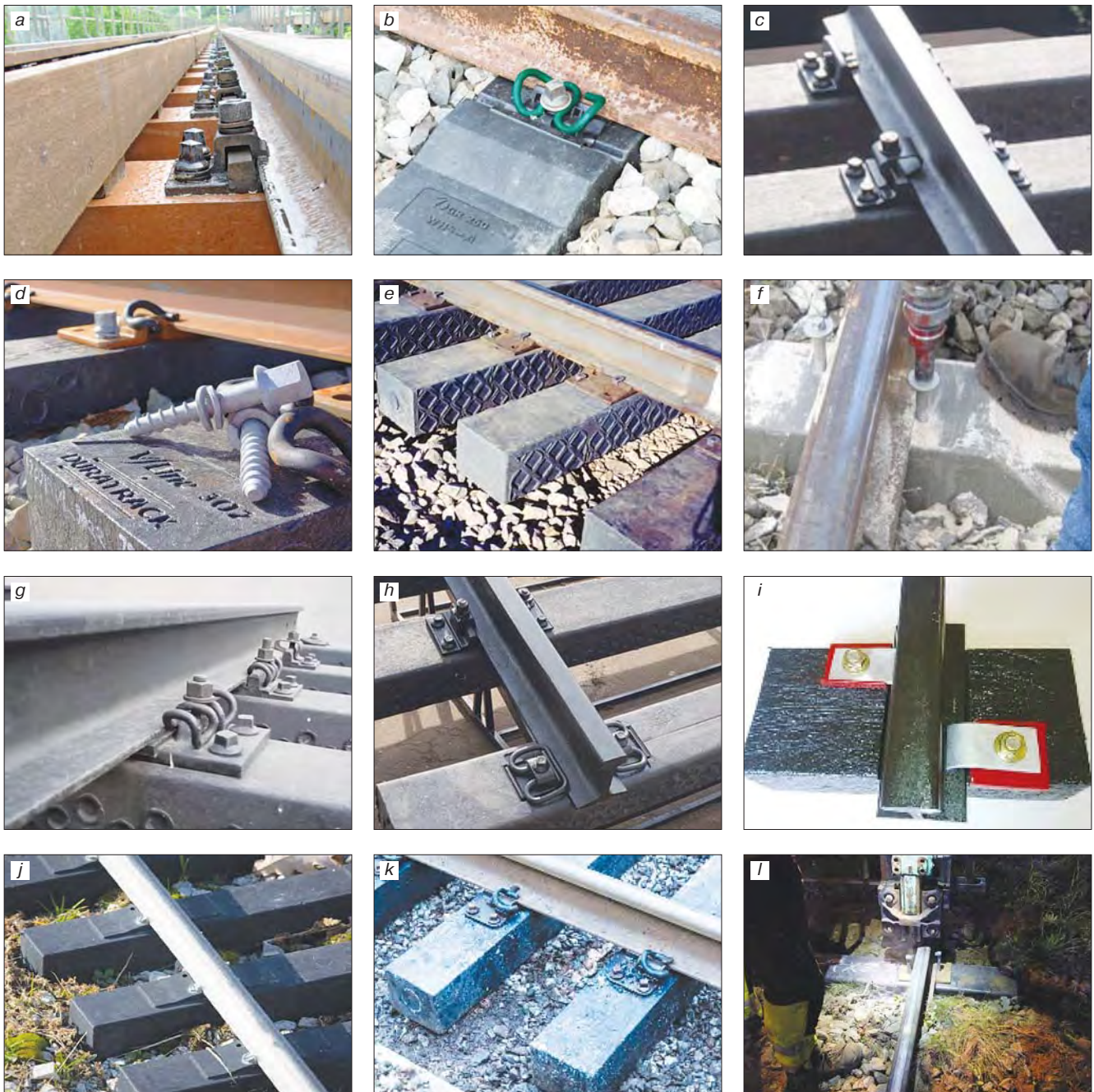
Как уже отмечалось, композиционные подрельсовые основания по физико-механическим характеристикам применяемых в них материалов наиболее близки к деревянным шпалам, что предопределяет применение в этих конструкциях аналогичных крепежителей, основные типы которых показаны на рис. 19.

Таким образом, на композиционных шпалах находят применение различные типы креплений, выбор которых должно проводиться с учетом условий эксплуатации ж/д пути, его назначения, вида подвижного состава, требований к снижению вибрации и шума, например, в метро, осевых нагрузок, интенсивности движения поездов и др.

**Дефекты композиционных подрельсовых оснований**

В отличие от традиционных подрельсовых оснований [113, 114] для композиционных не существует классификации дефектов, но с учетом накопившегося опыта их применения к таким дефектам можно отнести излом конструкции, растрескивание полимерной матрицы, трещинообразование в зоне крепежителей, торцевые трещины, дефекты от термитной сварки рельсов, врезка в шпалу подкладки, крип (увеличение ширины колеи), повышенные продоль-





**Рис. 19.** Основные типы креплений, применяемых на композиционных подрельсовых основаниях: *a* – раздельное жесткое шурупное крепление на SEKISUI FFU-синтетических основаниях [19]; *b* – то же, нераздельное с витковой клеммой на Greenrail-шпале из ж/б сердцевины с полимерной оболочкой [11]; *c* – раздельное шурупное крепление с плоской клеммой на АКСИОН-композитной шпале [109]; *d* – раздельное шурупное крепление с витковой клеммой на Duratrack-полимерной шпале [110]; *e* – смешанное костыльное крепление на пластиковой шпале [111]; *f* – нераздельное шурупное крепление на шпале из композитных сэндвич-панелей, стекловолокна и смолы [31]; *g* – раздельное шурупное крепление с витковой клеммой на АКСИОН-композитной шпале [112]; *h* – раздельное жесткое шурупное (верхняя шпала) и нераздельное шурупное с витковой клеммой (нижняя шпала) крепление на АКСИОН-композитной шпале [109]; *i* – нераздельное шурупное крепление с плоской клеммой на Tufflex-композитной шпале [69]; *g* – нераздельное жесткое шурупное крепление на пластиковой трамвайной шпале [74]; *k* – раздельное шурупное крепление с витковой клеммой на ТВЕМА-композитных шпалах [8]; *l* – нераздельное костыльно-шурупное крепление на Sicut-композитной шпале [13]

**Fig. 19.** The main types of fasteners used on composite sub-rail bases: *a* – separate rigid screw fastening on SEKISUI FFU-synthetic bases [19]; *b* – the same, inseparable with a coil clamp on a Greenrail-sleeper made of reinforced concrete core with a polymer sheath [11]; *c* – separate screw fastening with a flat clip on the AXION-composite sleeper [109]; *d* – separate screw fastening with a coil clamp on a Duratrack-polymer sleeper [110]; *e* – mixed crutch fastening on a plastic sleeper [111]; *f* – inseparable screw fastening on a sleeper made of composite sandwich panels, fiberglass and resin [31]; *g* – separate screw fastening with a coil clamp on the AXION-composite sleeper [112]; *h* – separate rigid screw (upper sleeper) and inseparable screw with a coil clamp (lower sleeper) fastening on the AXION-composite sleeper [109]; *i* – inseparable flat screw fastening on a Tufflex composite sleeper [69]; *g* – inseparable rigid screw fastening on a plastic tram tie [74]; *k* – separate screw fastening with a coil clamp on TVEMA-composite sleepers [8]; *l* – inseparable crutch-screw fastening on a Sicut-composite sleeper [13]





**Рис. 20.** Типичные дефекты композиционных подрельсовых оснований: *a* – трещины в зоне прикрепителя [115]; *b* – развитие сетки трещин на поверхности шпалы, вызванное нарушениями технологии изготовления [83]; *c* – опасность деструкции конструкции при термитной сварке рельса [115]; *d* – низкая стойкость к воздействию окружающей среды при технологических нарушениях производства [115]; *e* – развитая трещина в зоне системы крепления [116]; *f* – технологические пустоты в области скреплений [116]; *g* – неплоскость поверхности вследствие технологических нарушений при производстве [116]; *h* – излом в центральной части шпалы вследствие эксплуатационных нарушений [116]; *i* – выгиб центральной части шпалы в области загрязненного балласта [116]; *j* – повышенное продольное температурное расширение (изменение ширины колеи) при большом перепаде температуры [117]; *k* – излом шпалы под рельсом вследствие дефекта в виде сучка в нижнем армирующем деревянном брусе [83]; *l* – трещинообразование в верхней части шпалы вследствие дефекта в виде сучка в верхнем армирующем деревянном брусе [83]

**Fig. 20.** Typical defects of composite sub-rail bases: *a* – cracks in the zone of the attachment [115]; *b* – the development of a network of cracks on the surface of the sleeper, caused by violations of the technology of their manufacture [83]; *c* – danger of structure destruction during thermite welding of the rail [115]; *d* – low resistance to environmental influences during technological disruptions in production [115]; *e* – developed crack in the area of the fastening system [116]; *f* – technological voids in the bonding area [116]; *g* – non-flatness of the surface due to technological disturbances during production [116]; *h* – break in the central part of the sleeper due to operational violations [116]; *i* – bending of the central part of the sleeper in the area of contaminated ballast [116]; *j* – increased longitudinal thermal expansion (change in track width) with a large temperature drop [117]; *k* – break of the sleeper under the rail due to a knot-like defect in the lower reinforcing wooden beam [83]; *l* – cracking in the upper part of the sleeper due to a defect in the form of a knot in the upper reinforcing wooden bar [83]

Таблица 3  
Table 3Характеристики материала шпал  
Material characteristics of sleepers

Характеристики	Шпала		
	деревянная	композиционная	ж/б
Масса шпалы, кг	65–75	85–190	270
Плотность материала, кг/м <sup>3</sup>	0,44–0,64	0,89–1,6	2,3
Модуль упругости, ГПа	11,9–6,1	2,67–13	32,5

ные температурные деформации при больших перепадах температуры и некоторые другие [115]. Наиболее типичные для композиционных подрельсовых оснований дефекты, наблюдающиеся на практике, приведены на рис. 20.

Приведенные на рис. 20 дефекты в целом можно классифицировать на конструкционные (связаны с их конструктивными особенностями), технологические (вызваны нарушениями технологического регламента их изготовления) и эксплуатационные (проявляются при нарушении технологии текущего содержания ж/д пути).

Поэтому и контрмеры для снижения дефектности композиционных конструкций должны быть направлены в первую очередь на соблюдение технологических регламентов изготовления и содержания композиционных подрельсовых оснований, а также совершенствование их конструкций.

#### Эволюция и тенденции развития конструкций подрельсовых оснований

Развитие железных дорог связано с увеличением нагрузок на ось, скоростей подвижного состава, расширением областей использования ж/д транспорта, что вызывает и необходимость совершенствования конструкций подрельсовых оснований. На железных дорогах мира уложено свыше 3 млрд только шпал, из которых около 75% деревянных, 20% железобетонных и 5% металлических.

Деревянные шпалы, составляющие основную долю мирового рынка подрельсовых оснований, просты в изготовлении и укладке в ж/д путь, обеспечивают пониженный износ подвижного состава и элементов ж/д пути, имеют возобновляемый источник для их изготовления, но из-за резкого сокращения лесных ресурсов, особенно ареала произрастания твердой и крупноствольной древесины, экологических проблем, связанных с применяемым для их пропитки антисептиком, они постепенно вытесняются ж/б и композиционными конструкциями. Этому способствует низкая сопротивляемость ж/д пути выбросам и угонам на таких основаниях, а также проблема утилизации старогонных деревянных оснований – шпал и брусев.

Несмотря на проблемы с повышенной жесткостью и неудовлетворительными виброизоляционными свойствами, низкая себестоимость и хорошая утилизируемость делают металлические шпалы конкурентоспособными на неэлектрифицированных участках в регионах с засушливым климатом, в бедных лесами районах, в тропиках, где древесина подвержена разрушению термитами, на менее загруженных промышленных железных дорогах, в карьерах, на металлургических предприятиях при больших осевых нагрузках и др.

Ж/б шпалы, как и металлические, обладают высокой однородностью свойств и конструктивных размеров, простотой организации производства, имеют при этом высокие электроизоляционные свойства и

большую массу, которая обеспечивает плавность хода подвижного состава и сопротивляемость ж/д пути угонам и выбросам, что предопределило их повсеместное применение на ж/д мира. В то же время ж/д путь на бетонных подрельсовых основаниях – шпалах, брусках и плитах – имеет повышенную жесткость, приводящую к износу подвижного состава и, как следствие, преждевременной замене ж/б оснований из-за износа элементов ж/д пути – рельсов и скреплений; при этом повышенная масса таких конструкций ограничивает их применение на металлических ж/д мостах, в местах с повышенной загрязненностью балласта и др.

Композиционные подрельсовые основания, в частности шпалы, с одной стороны, могут быть сконструированы рационально подобно ж/б конструкциям с учетом действующих от подвижной нагрузки в их сечениях сил, а с другой – за счет использования разнородных материалов им может быть придан более широкий спектр свойств композита в отличие от металла, бетона и древесины, что предполагает более широкий спектр климатических и других эксплуатационных условий, где их применение будет экономически более выгодным по сравнению с подрельсовыми основаниями стандартных конструкций из традиционных материалов.

Как уже отмечалось [118], преимущества и недостатки, проявляющиеся при эксплуатации ж/д пути, положительные и отрицательные стороны подрельсовых оснований из древесины и бетона диаметрально противоположны и решение этой дилеммы лежит как раз в плоскости применения композиционных подрельсовых оснований, свойства которых являются своеобразной альтернативой свойствам материала оснований из бетона, стали и древесины (табл. 3). Отметим, что строгий подход к определению свойств композита (на примере композиционных шпал) таких конструкций впервые был реализован в работе [83].

Современные тенденции развития ж/д транспорта связаны с увеличением нагрузки на ось, повышением скорости движения поездов, их протяженности и интенсивности движения, следовательно, при эксплуатации ж/д инфраструктуры с использованием стандартных подрельсовых оснований неизбежно проявятся такие проблемы, как ускоренный выход из строя конструкций подрельсовых оснований, рост расходов на их обслуживание, сокращение срока



**Таблица 4**  
**Table 4**

**Сравнение эксплуатационных свойств подрельсовых оснований**  
**Comparison of the performance properties of under-rail bases**

Материал основания	Сопrotивление материала оснований воздействию				Срок эксплуатации конструкции, лет
	гниения	нагрузки	выдергиванию крепежителей	врезанию подкладки	
Композит	Очень хорошо	Очень хорошо	Очень хорошо	Очень хорошо	До 50
Древесина	Плохо	Достаточно	Достаточно	Плохо	12–15
Бетон	Очень хорошо	Очень хорошо	–	Очень хорошо	12–15*

**Примечание.** \* Срок службы бетона шпал до 50 лет.

службы оснований и увеличение межремонтных периодов [119–121].

При этом ухудшающиеся климатические условия эксплуатации подрельсовых оснований, связанные с ростом загрязнения атмосферы, воздействием кислотных дождей и другими негативными факторами, усложняют вышеизложенные проблемы, а обостряющаяся проблема охраны окружающей среды как от непосредственного воздействия на нее ж/д пути, так и опосредованного через разработку карьеров для добычи щебня, вырубки лесов, плохо организованной утилизации старогодных подрельсовых оснований и т. д. — все это в совокупности представляет для ж/д индустрии острый вызов ее устойчивому развитию [122, 123].

С другой стороны, запасы крупнотельной древесины, речного песка и других невозобновляемых ресурсов, используемых в качестве исходных материалов для получения традиционных подрельсовых оснований, резко сокращаются, при этом в некоторых странах Юго-Восточной Азии введены ограничения и даже запрет на использование речного песка, а разнообразные строительные, промышленные, сельскохозяйственные и лесные отходы непрерывно накапливаются, создавая серьезную экологическую проблему мирового масштаба, что является важным стимулом для развития технологий композиционных подрельсовых оснований, для производства которых отходы и побочные продукты промышленности могут быть эффективно использованы [124–125].

В России отходы и побочные продукты промышленности скапливаются в основном в больших городских агломератах и промышленных районах, что создает серьезную экологическую проблему, но, с другой стороны, представляется перспективным применение таких композитов при развитии сети железных дорог в малонаселенных районах с суровыми климатическими условиями, в восточных и северо-восточных регионах, при строительстве перспективных широтных Северо-Сибирской и Арктической магистралей [126, 127]. Предпосылками этому служат высокие эксплуатационные свойства композиционных подрельсовых оснований (табл. 4).

Перспективным направлением развития ж/д подрельсовых оснований являются ж/б и композиционные конструкции, причем доля последних на ж/д рынке будет повышаться, что определяется их пре-

имуществами не только в технико-экономическом, но и в экологическом аспекте. При этом гомогенные композиционные основания без или только с короткими волокнами имеют высокий потенциал применения на всех участках ж/д путей, за исключением мостов с ездой без балласта и регионов с большим перепадом температуры. В этом отношении гомогенные композиционные основания с длинными волокнами и гибридные композиционные конструкции имеют более широкий спектр применения, включая и участки ж/д пути, где гомогенные композиты, армированные короткими волокнами или без них, менее эффективны.

По сравнению с гомогенными композиционными подрельсовыми основаниями с длинными волокнами гибридные композиционные шпалы имеют экономические и экологические преимущества благодаря более высоким эксплуатационным свойствам и возможности их варьирования в широком диапазоне, в частности по управлению линейными перемещениями оснований в условиях больших температурных перепадов, а также благодаря большей доле используемых в них вторичных полимеров в качестве исходных материалов.

Таким образом, по мере развития и совершенствования технологии, актуализации проблем утилизации вторичных промышленных продуктов и бытовых отходов композиционные подрельсовые основания будут получать все больший импульс к развитию и применению на ж/д транспорте различного назначения.

**Выводы**

1. За исторический период развития ж/д транспорта нашли применение каменные, деревянные, ж/б, металлические и композитные подрельсовые основания. Каменные конструкции относятся к начальному историческому этапу развития железных дорог и не получили дальнейшего развития, металлические в силу их специфических особенностей находят больше локальное применение, в то время как деревянные, составляющие большую часть уложенных в ж/д путь конструкций, имеют тенденцию к снижению их доли применения за счет расширения полигона укладки ж/б оснований и наметившейся мировой тенденции на использование композитов на полимерном связующем. Последнее обусловлено рядом причин, в том числе технологичностью производства и возможностью придания им рациональ-

ной конструктивной формы пониженной материалоемкости.

2. Хотя применение металлических оснований и носит локальный характер, технологичность их изготовления, разнообразие конструктивных форм (стальные шпалы в форме желоба, Y-образная стальная шпала, сборочная стальная шпала для ж/д мостов и др.), низкая себестоимость и хорошая утилизируемость делают стальные шпалы конкурентоспособными при определенных эксплуатационных условиях, даже несмотря на их повышенную жесткость и низкие виброизоляционные свойства.

3. Высокоиндустриальные строительные технологии позволяют придавать ж/б основаниям большое разнообразие конструктивных форм, включая стандартную, широкую, тяжеловесную, эластичную, низкопрофильную, двухблочную, рамочную и лестничную конструкции, а также «аэродинамическую» шпалу, которые сконструированы для определенных эксплуатационных условий ж/д системы. Это позволяет их использовать на большинстве участков ж/д пути за редким исключением, но повышенная жесткость железной дороги на таком основании приводит к высоким эксплуатационным издержкам, что служит основанием для поиска альтернативных им конструкций, свойства которых являлись бы компромиссом между деревянными и ж/б подрельсовыми основаниями, в качестве которых и рассматриваются композиты на органическом связующем.

4. Одной из мировых тенденцией в развитии железных дорог, а с учетом стратегии развития ж/д транспорта Российской Федерации это касается и их строительства в северных и восточных регионах страны, в настоящее время является применение композиционных подрельсовых оснований. Это обусловлено возможностью придания им различных конструктивных форм и технологичностью производства, варьированием в широком диапазоне физико-технических свойств материала таких конструкций, позволяющая преодолеть такой их недостаток, как большие деформации при перепадах температур, а также получить компромиссную традиционным материалам из стали, древесины или бетона конструкцию, в меньшей степени обладающую такими недостатками, как повышенная жесткость, низкая масса, повреждаемость, низкая стойкость при агрессивных воздействиях и т. д.

5. По структуре композиционные подрельсовые основания подразделяются на гомогенные и гибридные. В свою очередь, основания из гомогенных композитов различают на конструкции, которые содержат короткие, длинные волокна или не имеют таковых. По сравнению с гомогенными композитами, гибридные композиционные основания содержат армирующие протяженные элементы, полимерная матрица которых содержит меньшее количество волокон или не содержит их вовсе. При этом производство гомогенных подрельсовых конструкций более технологично, чем гибридных, в то время как последние имеют весомое преимущество в эксплуатационных свойствах.

6. Композиционные подрельсовые основания имеют ряд преимуществ не только в техническом, но также в экономическом и экологическом аспектах. Увеличение нагрузки на ось от подвижного состава, повышение скорости и интенсивности движения поездов, а также постепенно ухудшающиеся климатические условия эксплуатации представляют для ж/д инфраструктуры существенные вызовы ее устойчивому развитию. В тоже время невозобновляемые ресурсы в качестве исходных материалов для изготовления традиционных конструкций подрельсовых оснований или резко сокращаются, или увеличивают экологическую нагрузку на окружающую среду, состояние которой в ряде регионов принимает угрожающий характер из-за накопления строительных, промышленных, бытовых и лесных отходов, что определяет один из основных факторов роста потребности на ж/д транспорте перспективных конструкций верхнего строения ж/д пути – композиционных подрельсовых оснований.

#### Список литературы / References

1. Esveld C. Modern Railway Track (2nd Editon). Delft: MRT Proctions. 2001. 740 p.
2. Koike Y., Nakamura T., Hayano K., et al. Numerical method for evaluating the lateral resistance of sleepers in ballasted tracks. *Soils and Foundations*. 2014. Vol. 54. Iss. 3, pp. 502–514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.04.014>
3. Трынкова О.Н. Биография дорог: конструкции твердых покрытий // *Мир транспорта*. 2010. № 1. С. 176–182.
3. Trynkova O.N. Road Biography: Hard Pavement Structures. *World of transport*. 2010. No. 1, pp. 176–182. (In Russian).
4. Железнодорожный транспорт: Энциклопедия / Гл. ред. Н.С. Конарев. М.: Большая Российская энциклопедия, 1995. 560 с.
4. Zheleznodorozhnyi transport: Entsiklopediya [Railway transport: Encyclopedia]. Ch. ed. N.S. Konarev. Moscow: Great Russian Encyclopedia, 1995. 560 p.
5. Першин С.П. Развитие строительного-путевого дела на отечественных железных дорогах. М.: Транспорт, 1978. 296 с.
5. Pershin S.P. Razvitie stroitel'no-putejskogo dela na otechestvennyh zheleznih dorogah [The development of construction and railway business on domestic railways]. Moscow: Transport, 1978. 296 p.
6. fib-bulletin-37. Precast concrete railway track systems, state-of-art report. 2006: International Federation for Structural Concrete.
7. The future of rail, opportunities for energy and the environment. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail> (Date of access 22.05.2020).
8. АКЦИОН РУС. Композитные шпалы. <https://axionrus.ru/kompozitnayashpala/> (Дата обращения 22.05.2020).



8. AKSION RUS. Composite sleepers. <https://axionrus.ru/kompozitnayashpala/> (Date of access 22.05.2020). (In Russian).
9. TieTek composite ties. <http://www.tietek.net/product.asp> (Date of access 22.05.2020)
10. IntegriCo. IntegriTies. <https://www.integrigo.com/integrities> (Date of access 22.05.2020).
11. Greenrail. Composite sleeper product. <http://www.greenrailgroup.com/en/the-product/> (Date of access 22.05.2020).
12. Network Rail to recycle rubbish into sleepers. <https://www.theguardian.com/environment/2009/feb/16/rail-recycling-plastic> (Date of access 22.05.2020).
13. SICUT. Plastic Composite Railway Mainline Sleepers. <http://www.sicut.co.uk/standard-sleeper-tie/> (Date of access 22.05.2020).
14. Duratrack® Composite Recycled Plastic Railway Sleepers. <http://www.integratedrecycling.com.au/railway-sleepers/> (Date of access 22.05.2020).
15. Fraunhofer ICT. Mixed Plastic Waste (MPW) Sleeper. <https://nachhaltigwirtschaften.at/en/fdz/projects/susprise/railwaste-production-of-railway-sleepers-by-mixed-plastic-waste.php> (Date of access 22.05.2020).
16. KEBOS. Fiber Reinforced Foamed Urethane Sleeper, <http://www.kebos.cn/item/5.html> (Date of access 22.05.2020)
17. Pattamaprom C., Dechojarassri D., Sirisinha C., et al. Natural rubber composites for railway sleepers: a feasibility study. Thailand: Thammasat University, 2005. 350 p.
18. Manalo A., Aravinthan T. Behavior of full-scale railway turnout sleepers from glue-laminated fiber composite sandwich structures. *Journal of composites for construction*. 2012. Vol. 16 (6), pp. 724–736.
19. FFU. FFU synthetic railway sleepers, Sekisui Chemical GmbH, Access Date: 11 Oct 2017, Available from: [http://www.sekisui-rail.com/en/home\\_en.html](http://www.sekisui-rail.com/en/home_en.html)
20. Патент РФ 2179923. Способ изготовления литой шпалы для железных дорог широкой колеи / Занегин Л.А., Селиванов Н.Ф., Петров Ю.Л. Заявл. 30.03.2000. Оpubл. 27.01.2002.
20. Patent RF 2179923. *Sposob izgotovleniya litoi shpaly dlya zheleznykh dorog shirokoi kolei* [Cast method for manufacturing sleepers for broad gauge railways]. ZaneGIN L.A., Selivanov N.F., Petrov Yu.L. Declared 30.03.2000. Published 27.01.2002. (In Russian).
21. Hu X.Q., Xu Y.X. The application research of basalt fiber reinforced concrete in railway sleeper. *Proceedings of the 12th National Fiber Concrete Conference*. China Civil Engineering Society. 2009. pp. 48–53. (In Chinese).
22. Patent CN202954271. Wang S.H. Reconsolidated bamboo sleeper for mine railway. (In Chinese).
23. Soehardjo K.A., Basuki A. Utilization of bagasse and coconut fibers waste as fillers of sandwich composite for bridge railway sleepers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 223. Conference 1. 012036. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/223/1/012036>
24. Khalil A.A. Mechanical testing of innovated composite polymer material for using in manufacture of railway sleepers. *Journal of Polymers and the Environment*. 2018. No. 26. Iss. 1, pp. 263–274. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-017-0940-6>
25. Lampo R. Recycled plastic composite railroad crossties. Construction Innovation Forum US Army ERDC-CERL. Champaign, IL, USA. 2002. [http://www.cif.org/noms/2002/13\\_-\\_Recycled\\_Plastic\\_Composite\\_Crossties.pdf](http://www.cif.org/noms/2002/13_-_Recycled_Plastic_Composite_Crossties.pdf) (Date of access 22.05.2020).
26. Xiao S.L., Chen Y.X. Characteristics of Railway Sleeper Composite and Its Impacts. *Forest Engineering*. 2007. Vol. 23. Iss. 1, pp. 85–87. (In Chinese).
27. Стородубцева Т.Н., Федянина Н.В. Композиционный материал на основе отходов лесного комплекса для железнодорожных шпал // *Современные наукоемкие технологии*. 2011. № 5. С. 49–52.
27. Stordubceva T.N., Fedjanina N.V. Composite material based on forest waste for railway sleepers. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*. 2011. No. 5, pp. 49–52. (In Russian).
28. Rahul S., Garish P., Gaurav K., et al. Composite railway sleeper. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2018. Vol. 5. Iss. 9, pp. 1416–1419. <https://www.irjet.net/archives/V5/i9/IRJET-V5I9257.pdf>
29. Hameed A.S., Shashikala A.P. Suitability of rubber concrete for railway sleepers. *Perspectives in Science*. 2016. No. 8, pp. 32–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.01.011>
30. Van Erp G. M. A railway sleeper: U.S. Patent Application 14/652,806. 2015-11-19.
31. Ferdous W., Manalo A., Van Erp G., et al. Evaluation of an innovative composite railway sleeper for a narrow-gauge track under static load. *Journal of Composites for Construction*. 2017. Vol. 22, Iss. 2. 04017050. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000833](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000833)
32. Kaewunruen S., You R., Ishida M.. Composites for timber-replacement bearers in railway switches and crossings. *Infrastructures*. 2017. Vol. 2 (4), p. 13. DOI: 10.3390/infrastructures2040013
33. Kondrashchenko V.I., Jing G.Q., Wang C. Wood-polymer composite for the manufacture of sleepers. *Materials Science Forum. Trans Tech Publications*. 2019. Vol. 945, pp. 509-514. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.509>
34. London & Birmingham railway. [https://tringhistory.tringlocalhistorymuseum.org.uk/Railway/c10\\_construction\\_\(IV\).htm](https://tringhistory.tringlocalhistorymuseum.org.uk/Railway/c10_construction_(IV).htm) (Date of access 27.05.2020).
35. Rothlisberger E. History and development of wooden sleeper [https://www.traverses-chemin-de-fer-bois.ch/files/4/Timber\\_sleeper-history\\_and\\_development.pdf](https://www.traverses-chemin-de-fer-bois.ch/files/4/Timber_sleeper-history_and_development.pdf)
36. Крепление рельсов: стыковые и промежуточные крепления на ЖД пути. <http://promputsna.ru/poleznoe/253-skreplenie-relsov->

- promezhutochnye-krepleniya-na-zhd-puti-vidy-i-naznacheniya-soedineniya-so-shpalami.html (Дата обращения 22.05.2020).
36. Rail fastening: butt and intermediate fastenings on the railway track. <http://promputsna.ru/poleznoe/253-skreplenie-relsov-promezhutochnye-krepleniya-na-zhd-puti-vidy-i-naznacheniya-soedineniya-so-shpalami.html> (Date of access 22.05.2020). (In Russian).
  37. Виртуальная фотогалерея «МЕТРО»: Врезка стрелочного перевода на Петровско-Разумовской. <http://metro-photo.ru/post10440> (Дата обращения 22.05.2020).
  37. Virtual photo gallery of «SUBWAY»: embedment of switch at Petro-Umumovskaya Station. <http://metro-photo.ru/post10440> (Date of access 22.05.2020). (In Russian).
  38. Baulk road crossing. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Baulk\\_road\\_crossing.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Baulk_road_crossing.jpg) (Date of access 29.05.2020).
  39. Из чего состоит стрелочный перевод: устройство и конструкция элементов, описание, неисправности. <https://promputsna.ru/poleznoe/254-iz-chego-sostoit-strelochnyy-perevod-ustroystvo-i-konstrukciya-elementov-osobennosti-stroeniya-usovika.html> (Дата обращения 22.05.2020).
  39. What the switch consists of: device and structure elements, description, defects. <https://promputsna.ru/poleznoe/254-iz-chego-sostoit-strelochnyy-perevod-ustroystvo-i-konstrukciya-elementov-osobennosti-stroeniya-usovika.html> (Date of access 22.05.2020). (In Russian).
  40. Infrastructure. completed projects. <https://trainsinthevalley.org/infrastructure-completed-projects/> (Date of access 22.05.2020).
  41. Wide Range Steel Sleepers from AGICO. <http://www.railroadpart.com/rail-sleepers/steel-sleeper.html> (Date of access 29.05.2020).
  42. SOB – Y-steel sleeper. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SOB\\_-\\_Y-steel\\_sleeper\\_\(2950977783\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SOB_-_Y-steel_sleeper_(2950977783).jpg) (Date of access 22.05.2020).
  43. Kenro the ‘in-bearer of good news’ for vossloh cogifer and rio tinto. [https://kenrometal.com.au/portfolio\\_page/3295/](https://kenrometal.com.au/portfolio_page/3295/) (Date of access 20.05.2020).
  44. Steel channel sleeper. <https://www.indiamart.com/proddetail/steel-channel-sleeper-10632529062.html> (Date of access 22.05.2020).
  45. RailCorp. Timber Sleepers & Bearers; Engineering Specification SPC 231. RailCorp: Sydney, Australia, 2012.
  46. Kaewunruen S., Remennikov A.M. Dynamic flexural influence on a railway concrete sleeper in track system due to a single wheel impact. *Engineering Failure Analysis*. 2009. Vol. 16, Iss. 3, pp. 705–712 <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2008.06.002>
  47. History of Steel Sleepers and the Latest Developments. <https://www.nipponsteel.com/tech/report/nssmc/pdf/115-11.pdf> (Date of access 22.05.2020).
  48. Concrete sleepers. <http://www.railroadpart.com/rail-sleepers/concrete-sleeper.html> (Date of access 22.05.2020).
  49. Heavyweight for the USA. <https://www.railone.com/products-solutions/long-distance-and-freight-transport/freight-and-heavy-haul-rail-transport/usa> (Date of access 22.05.2020).
  50. Wide sleeper track. <https://www.railone.com/products-solutions/long-distance-and-freight-transport/ballasted-track-systems> (Date of access 22.05.2020).
  51. RFI approves WEGH under-sleeper pads. <https://www.railwaygazette.com/news/infrastructure/single-view/view/rfi-approves-wegh-under-sleeper-pads.html> (Date of access 22.05.2020).
  52. Austrak Vossloh. <http://www.austrak.com/content/sleeper-technology/> (Date of access 22.05.2020).
  53. Nederlands: NS duoblockdwarsliggers. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NS\\_dwarsliggers.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NS_dwarsliggers.JPG) (Date of access 22.05.2020).
  54. Riesberger K. Frame sleeper upgrade ballast track. WCRR paper. UIC. 2001. <http://www.railway-research.org/IMG/pdf/035.pdf>
  55. Floating ladder tracks at Shinagawa Station. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FloatingLadder.JPG#/media/File:FloatingLadder.JPG> (Date of access 22.05.2020).
  56. Innovative high-speed sleeper keeps ballast in its place. <https://www.railjournal.com/track/innovative-high-speed-sleeper-keeps-ballast-in-its-place/> (Date of access 22.05.2020).
  57. Abetong. TCS (Tuned concrete sleeper) Information. [https://www.abetong.se/en/product\\_portfolio](https://www.abetong.se/en/product_portfolio) (Date of access 22.05.2020).
  58. Re-sleeping project. <https://www.queenslandrail.com.au/Community/Projects/Pages/Re-sleepingProject.aspx> (Date of access 22.05.2020).
  59. 蔡小培, 曲村, 高亮. 国内外高速铁路桥上有砟轨道轨枕结构研究现状分析. 铁道标准设计, 2011 (11): 5–10.
  60. AGICO Group. How many types of railway turnouts there are? <http://www.railroadfastenings.com/blog/railway-turnout-types.html> (Date of access 22.05.2020).
  61. Why do they have the two extra railway lines (in between the main lines) on bridges? <https://www.quora.com/Why-do-they-have-the-two-extra-railway-lines-in-between-the-main-lines-on-bridges> (Date of access 22.05.2020).
  62. RAIL.ONE starts partnership with voestalpine VAE APCAROM. <https://www.railwaypro.com/wp/rail-one-starts-partnership-with-voestalpine-vae-apcarom/> (Date of access 02.06.2020).
  63. Все марки плит из обычного железобетона. <http://ozjbk.by/produkcija/transportnoe-stroitelstvo/plity-bezballastnogo-mostovogo-polotna-iz-obychnogo-zhelezobetona-dlya-umerennykh-i-surovykh-klimaticheskix-uslovij/vse-marki-plit-iz-obychnogo-zhelezobetona/> (Дата обращения 22.05.2020).
  63. All grades of slabs made of ordinary reinforced concrete. <http://ozjbk.by/produkcija/transportnoe>



- stroitelstvo/plity-bezballastnogo-mostovogo-polotna-iz-obychnogo-zhelezobetona-dlya-umerennykh-i-surovykh-klimaticheskikh-uslovij/vsemarki-plit-iz-obychnogo-zhelezobetona/ (Date of access 22.05.2020). (In Russian).
64. Андреева Л.А., Свинцов Е.С., Тарасевич Е.А. Об экономической оценке эффективности использования безбалластного верхнего строения пути [J]. *Бюллетень результатов научных исследований*. 2017. № 4. С. 63–69.
64. Andreeva L.A., Svincov E.S., Tarasevich E.A. On the economic evaluation of the use of ballastless track superstructure. *Research Results Bulletin*. 2017. No. 4, pp. 63–69. (In Russian).
65. Axion-EcoTrax. Axion EcoTrax composite railroad ties. Available from: <http://www.axionsi.com/> (Date of access 22.05.2020).
66. Anne & Russ Evans. Rubber/plastic composite rail sleepers. UK: The waste & resources action programme. 2006. <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/27%20-%20Rubber-Plastic%20Composite%20Rail%20Sleepers%20-%20May%202006.pdf>
67. Clifton P. Plastic surgery. *Rail Professional*. 2009. Vol. 26.
68. Graebe G., Woidasky J., Fraunhofer J.V. Railway sleepers from mixed plastic waste-Railwaste project status information. *Fraunhofer ICT*, 2010. <https://docplayer.net/21281128-Railway-sleepers-from-mixed-plastic-waste-railwaste-project-status-information-as-of-oct-2010.html>
69. Tufflex. Sleepers. <http://www.tufflex.co.za/Pages/ProductCatalogue2/SubCategoryPage/SubCategoryPage.asp?SubCategoryID=4391> (Date of access 22.05.2020).
70. Railway sleepers made from recycled plastic installed at Richmond Train Station. <https://www.sustainability.vic.gov.au/About-us/Latest-news/2019/06/25/03/36/Recycled-plastic-railway-sleepers-installed-at-Richmond-Train-Station> (Date of access 22.05.2020).
71. Thomas J. Nosker, Arya Tewatia. Development, testing and application of recycled plastic composite sleepers. [https://www.thepwi.org/technical\\_hub\\_journal\\_technical\\_articles/pwi\\_journal\\_april\\_2017\\_vol\\_135\\_part\\_2/pwi\\_journal\\_0417\\_vol135\\_pt2\\_-\\_development\\_testing\\_and\\_application\\_of\\_recycled\\_plastic\\_composite\\_sleepers](https://www.thepwi.org/technical_hub_journal_technical_articles/pwi_journal_april_2017_vol_135_part_2/pwi_journal_0417_vol135_pt2_-_development_testing_and_application_of_recycled_plastic_composite_sleepers) (Date of access 22.05.2020).
72. Plastic bridge transom from company Tianjin Yanwen Weiye. <http://www.ibtwob.net/index.php?homepage=qs-yanwen1&file=sell&item-id=9280> (Date of access 22.05.2020). (In Chinese).
73. 孙津生, 孙稳, 孙嫣. 一种塑胶铁路枕木配方工艺. CN103524923A.
74. В Москве начали использовать шпалы из одноразовой посуды и бутылок. <http://naydem-vam.ru/viewtopic.php?id=25361> (Дата обращения 22.05.2020).
74. In Moscow began to use sleepers from disposable dishes and bottles. <http://naydem-vam.ru/viewtopic.php?id=25361> (Date of access 22.05.2020). (In Russian).
75. Hunan Taohuajiang Bamboo Technology Co.,Ltd. <http://www.chinathj.com/> (Дата обращения 21.05.2020)
76. Zhong Y, Wu G, Ren H, et al. Bending properties evaluation of newly designed reinforced bamboo scrimber composite beams. *Construction and Building Materials*, 2017. Vol. 143, pp. 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.052>
77. Lankhorst. Kunststof railway production, Access Date: 12 Dec 2018, Available from: <https://www.lankhorstrail.com/en/composite-sleepers>
78. Recycled plastic sleepers for main track. Access Date: 29 Aug 2019, Available from: <https://www.lankhorstrail.com/en/recycled-plastic-sleepers>
79. Ferdous W., Manalo A., Khennane A., et al. Geopolymer concrete-filled pultruded composite beams—concrete mix design and application. *Cement and Concrete Composites*. 2015. Vol. 58, pp. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.12.012>
80. Wood-core. Plastic composite wood core railroad ties 270lbs near indestructible, Southwest RV and Marine, Access Date: 12 Aug 2014, Available from: [www.swrvandmarine.com](http://www.swrvandmarine.com) Texas, USA.
81. 光垂式鉄枕木 (Koa Iron Crosstie). <http://www.koakensetsu.com/makuragi.htm> (Date of access 22.05.2020).
82. Van Erp G., McKay M. Recent Australian developments in fibre composite railway sleepers. *Electronic Journal of Structural Engineering*. 2013. Vol. 13 (1), pp. 62–66.
83. Кондращенко В.И. Оптимизация составов и технологических параметров получения изделий брускового типа методами компьютерного материаловедения. Дисс. ... д-ра техн. наук. М., 2005. 551 с.
83. Kondrashchenko V.I. Optimization of the compositions and technological parameters of the production of bar-type products by computational materials science methods. Diss... Doctor of Science (Engineering). Moscow. 2005. 551 p. (In Russian).
84. Кондращенко В.И., Харчевников В.И., Стородубцева Т.Н. и т. д. Древесностекловолоконистые композиционные шпалы. М.: Спутник+, 2009. 311 с.
84. Kondrashchenko V.I., Kharchevnikov V.I., Storodubtseva T.N., etc. Drevesnosteklovoloknistyye kompozitsionnyye shpaly [Wood and Glass Fiber reinforced composite sleeper]. Moscow: «Sputnik+». 2009. 311 p.
85. FRP Composite Sleepers for Application on Rail Tracks and Support Spans. <http://www.presentica.com/ppt-presentation/frp-composite-sleepers-for-application-on-rail-tracks-and-support-spans> (Date of access 19.05.2020).
86. Hoger D.I. Fibre composite railway sleepers. Cand. Diss. University of Southern Queensland, Toowoomba, Queensland, Australia, 2000.
87. 赵继华. 复合木桥枕和轨距可调扣件的研制及其运用. *铁道勘察*. 2016. No. 4, pp. 95–97.

87. Zhao Jihu. Development and application of composite wooden pillow and gauge adjustable fastener. *Railway Investigation and Surveying*. 2016. No. 4, pp. 95–97. (In Chinese).
88. Qiao P., Davalos J.F., Zipfel M.G. Modeling and optimal design of composite-reinforced wood railroad crosstie. *Composite Structures*. 1998. Vol. 41. Iss. 1, pp. 87–96. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(98\)00051-8](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(98)00051-8)
89. Ahn S., Kwon S., Hwang Y.T., et al. Complex structured polymer concrete sleeper for rolling noise reduction of high-speed train system. *Composite Structures*. 2019. Vol. 223. 110944. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.110944>
90. АпАТЭК – прикладные перспективные технологии. <http://www.apatech.ru/beam.html> (Дата обращения 22.05.2020).
90. АпАТЭК – applied advanced technologies. <http://www.apatech.ru/beam.html> (Date of access 22.05.2020). (In Russian).
91. Патент РФ № 2707435 по заявке № 2019105718. *Композиционная шпала* / Кондращенко В.И., Аскадский А.А., Аскадский А.А., Мороз П.А., Ван Чжуан, Цзин Гоцин. Заявл. 28.02.2019. Оpubл. 26.11.2019. Бюл. № 33.
91. Patent of Russian Federation. No. 2707435 by application No. 2019105718 *Композиционная шпала* [Composite sleeper]. Kondrashchenko V.I., Askadskij A.A., Askadskij A.A., Moroz P.A., Wang Chuang, Jing Guoqing. Declared 28.02.2019. Published 26.11.2019. Bull. No. 33. (In Russian).
92. Chuang Wang, Guoqing Jing, Valery Kondrashchenko, Lu Zong, Qiang Zhou, Wei Lu. Bamboo reinforced composite railway sleeper. CN210315076U. (In Chinese)
93. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1987. 479 с.
93. Shakhunyants G.M. Zheleznodorozhnyj put' [Railway track]. Ed. 3-re. and add. Moscow: Transport, 1987. 479 p.
94. Железнодорожный путь / Под ред. Е.С. Ашпица. 2-е изд., испр. и доп.: Учебник. М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2020. 576 с.
94. Zheleznodorozhnyj put' [Railway track] Edited by E.S. Ashpisa: textbook. 2-nd ed. fix and add. Moscow: FGBU DPO «Training center for education in railway transport», 2020. 576 p.
95. Modular composite switch ties – a sustainable solution that streamlines installation. <https://www.pandrol.com/us/insight/modular-composite-switch-ties-a-sustainable-solution-that-streamlines-installation/> (Date of access 20.05.2020)
96. Walker S. Analysis of the behaviour of composite transom decks for railway bridges. 2015. [https://eprints.usq.edu.au/29246/1/Walker\\_S\\_Manalo.pdf](https://eprints.usq.edu.au/29246/1/Walker_S_Manalo.pdf)
97. Plastic railway sleepers for bridges. <https://www.lankhorstrail.com/en/plastic-railway-sleepers> (Date of access 25.05.2020)
98. Geng Hao, Zhao Jian, Shen Yu-ting, Yao Li. Analysis of temperature adaptability of composite sleeper ballastless track. *Railway Standard Design*. 2019. Vol. 63 No. 7. (In Chinese) DOI: 10.13238/j.issn.1004-2954.201809100007
99. Vu M., Kaewunruen S., Attard M. Nonlinear 3D finite-element modeling for structural failure analysis of concrete sleepers/bearers at an urban turnout diamond. Handbook of materials failure analysis with case studies from the chemicals, concrete and power industries. Butterworth-Heinemann. 2016, pp. 123–160.
100. Duan L, Chen W. F. Bridge engineering handbook. CRC Press. Boca Raton FL. 1999.
101. Bian X, Jiang J, Jin W, et al. Cyclic and postcyclic triaxial testing of ballast and subballast. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2016. Vol. 28 (7). 04016032. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001523](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001523)
102. Савин А.В. Безбалластный путь. М.: РАС, 2017. 192 с.
102. Savin A.V. Bezbballastnyj put' [Ballastless railway]. Moscow: RAS. 2017. 192 p.
103. Shanghai Suyu Railway Material Co., Ltd. Elastic Rail Clip. <http://ru.suyurailfastening.com/ShowProducts.asp?id=42> (Date of access 21.05.2020)
104. Рельсовые скрепления при деревянных шпалах. <https://helpiks.org/2-92600.html> (Дата обращения 28.05.2020).
104. Rail fastenings for wooden sleepers. <https://helpiks.org/2-92600.html> (Date of access 28.05.2020). (In Russian).
105. Промежуточные рельсовые скрепления. <http://vse-lekcii.ru/zheleznodorozhnyj-transport/zheleznodorozhnyj-put-i-putevoe-hozyajstvo/promezhutochnye-relsovyie-skrepleniya> (Дата обращения 28.05.2020).
105. Intermediate rail fastenings. <http://vse-lekcii.ru/zheleznodorozhnyj-transport/zheleznodorozhnyj-put-i-putevoe-hozyajstvo/promezhutochnye-relsovyie-skrepleniya> (Date of access 28.05.2020). (In Russian).
106. Типовые промежуточные рельсовые скрепления. <http://static.scbist.com/scb/uploaded/11386424285.pdf> (Дата обращения 21.05.2020)
106. Typical intermediate rail fasteners. <http://static.scbist.com/scb/uploaded/11386424285.pdf> (Date of access 21.05.2020). (In Russian).
107. Требования к промежуточным рельсовым креплениям. <http://stroiuuniversal.ru/stati/relsovyie-krepleniya.html> (Дата обращения 22.05.2020).
107. Requirements for intermediate rail fasteners. <http://stroiuuniversal.ru/stati/relsovyie-krepleniya.html> (Date of access 22.05.2020). (In Russian).
108. Railpro Wooden Sleeper Repair Kit. <https://www.hirdrail.com/wooden-sleeper-repair-kit.html> (Date of access 20.05.2020)
109. Северный путь. Экологичные шпалы от российского производителя к Году экологии в России!



- <https://sevputspb.ru/ekologichnyie-shpalyi/> (Дата обращения 22.05.2020).
109. The Northern Railway. Eco-friendly sleepers from the Russian manufacturer for the Year of Ecology in Russia! <https://sevputspb.ru/ekologichnyie-shpalyi/> (Date of access 22.05.2020). (In Russian).
110. One company is recycling plastic waste into railway sleepers. <https://www.createdigital.org.au/one-company-recycling-plastic-waste-railway-sleepers/> (Date of access 22.05.2020)
111. Lampo R., Nosker T., Sullivan H. Development, testing, and applications of recycled plastic composite cross ties. *US Army Engineer R&D Centre*, 2003.
112. Шпалы из бутылок. <https://zen.yandex.ru/media/zaalan/shpaly-iz-butylok-5b5d97aa96f9b900a8f2488b> (Дата обращения 21.05.2020).
112. Crossties from bottles. <https://zen.yandex.ru/media/zaalan/shpaly-iz-butylok-5b5d97aa96f9b900a8f2488b> (Date of access 21.05.2020). (In Russian).
113. Инструкция по содержанию деревянных шпал, переводных и мостовых брусьев железных дорог колеи 1520 мм ЦП-410. Утв. заместителем министра путей сообщения В.Т. Семеновым 11.12.96.
113. Instructions for the maintenance of wooden sleepers, switches and bridge beams of railways of 1520 mm gauge CP-410. Approved by Deputy Minister of Transportation V.T. Semenov on 11.12.96. (In Russian).
114. Инструкция по ведению шпального хозяйства с железобетонными шпалами. Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12.02.2014. № 380р.
114. Instruction on sleeper management with reinforced concrete sleepers. Approved by the Order of Russian Railways “RZhD” from 12.02.2014 No. 380р. (In Russian).
115. Lampo R. Summary of current state of practice for composite crossties. *International crosstie and fastening system symposium*. Urbana, IL(USA): University of Illinois. 2014.
116. The plastic composite ties in Brazil. Challenges and solutions in large scale installation. leonardo souza soares – consultant in railway engineering. 2014.
117. Zhao Zhenhang, Liu Zengjie, Jiang Wanhong, etc. Experimental study on temperature adaptability of composite sleeper ballast track. *Journal of Railway Science and Engineering*. 2019. Vol. 16 (3), p. 606. (In Chinese).
118. Кондращенко В.И., Чжуан Ван. Композиционные подрельсовые основания. *Материалы // Строительные материалы*. 2020. № 1–2. С. 95–111. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-95-111>
118. Kondrashchenko V.I., Wang Ch. Composite Underrail Basements. *Materials. Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2020. No. 1–2, pp. 95–111. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-95-111>
119. Bian X, Jiang H, Chang C, et al. Track and ground vibrations generated by high-speed train running on ballastless railway with excitation of vertical track irregularities. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2015. Vol. 76, pp. 29–43. DOI: 10.1016/j.soildyn.2015.02.009
120. Wolf H.E., Edwards J.R., Dersch M.S., et al. Flexural analysis of prestressed concrete monoblock sleepers for heavy-haul applications: methodologies and sensitivity to support conditions. *Proceedings of the 11th International Heavy Haul Association Conference*. 2015. <https://core.ac.uk/download/pdf/158312257.pdf>
121. Ferdous W., Manalo A. Failures of mainline railway sleepers and suggested remedies—review of current practice. *Engineering Failure Analysis*. 2014. Vol. 44, pp. 17–35. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.04.020>
122. Chen M.C., Wang K., Xie L. Deterioration mechanism of cementitious materials under acid rain attack. *Engineering Failure Analysis*. 2013. Vol. 27, pp. 272–285. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.08.007>
123. Lebreton L., Andrady A. Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Communications*. 2019. Vol. 5 (1), p. 6. <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0212-7>
124. Kumar P., Imam B. Footprints of air pollution and changing environment on the sustainability of built infrastructure. *Science of The Total Environment*. 2013. Vol. 444, pp. 85–101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.056>
125. Sanjay M.R., Madhu P., Jawaid M., et al. Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Productio*. 2018. Vol. 172, pp. 566–581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.101>
126. Якунин В.И. Стратегия развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 2030 г. инфраструктурный фундамент экономического роста и повышения качества жизни в стране // *Железнодорожный транспорт*. 2007. № 12. С. 2–6.
126. Jakunin V.I. Strategy for development of railway transport of the Russian Federation up to 2030 – infrastructure foundation for economic growth and improvement of life quality in the country. *Zheleznodorozhnyj transport*. 2007. No. 12, pp. 2–6. (In Russian).
127. Копыленко В.А., Быков Ю.А., Круглов В.М., Турбин И.В., Космин В.В. Северные и восточные районы России – важнейший полигон расширения сети железных дорог страны в XXI веке // *Транспортное строительство*. 2008. № 4. С. 2–4.
127. Kopylenko V.A., Bykov Ju.A., Kruglov V.M., Turbin I.V., Kosmin V.V. Northern and eastern parts of Russia are the most important site for expanding the country 's railway network in the 21-st century. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2008. No. 4, pp. 2–4. (In Russian).

# Как подготовить к публикации научно-техническую статью

Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до пяти журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Жилищное строительство» для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

**Библиографические списки** цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

## НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

## ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–3 года в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние пять лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

**ВНИМАНИЕ! С 1 января 2020 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам»!**

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате \*.doc или \*.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах \*.cdr, \*.ai, \*.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате \*.tif, \*.psd, \*.jpg (качество «8 – максимальное») или \*.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом не менее 100 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы», ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»<sup>®</sup> был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала [www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf](http://www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf)

**Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства**

**<http://rifsm.ru/page/7/>**

**или журнала <http://journal-cm.ru/index.php/ru/avtoram>**







СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ  
ВЫСТАВКА



# ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Trade Fair for Construction Materials

## ★ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ:

Салон станков, оборудования, технологий и сырья  
для индустрии керамической промышленности

### КЕРАМБРИКТЕХ CERAMBRICKTECH

Переработка и управление отходами

### RWEXPO RECYCLING WASTE EXPO



26.01 | 29.01

ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»  
МОСКВА, 2021

реклама

16+



ОРГАНИЗАТОР /  
Organizer:

МОСКВА, РОССИЯ

ЕВРОЭКСПО



VIENNA, AUSTRIA

EUROEXPO

Exhibitors and Congress Development GmbH



[www.osmexpo.ru](http://www.osmexpo.ru)