



СТРОИТЕЛЬ ДОНБАССА

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 1 МАРТ 2018



НАШИ ПАРТНЕРЫ:



Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства ДНР



Министерство образования
и науки ДНР

Уважаемые коллеги строители!
Приглашаем принять участие

II Международный строительный форум
19–21 апреля 2018 года

«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»

ОРГАНИЗАТОРЫ:

- ❖ Министерство образования и науки ДНР
- ❖ Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства ДНР
- ❖ ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ФОРУМА:

1. XVII Международная конференция «Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий» (19– 20 апреля).
2. III Республиканская конференция молодых ученых, аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строительно-архитектурной отрасли» (20 апреля).
3. Выставка научно-технических разработок в строительстве и архитектуре (19– 21 апреля).
4. Книжная выставка библиотеки ДонНАСА (19– 21 апреля).

Предусмотрены очная и заочная формы участия. Более детальные условия, контрольные даты, тематика профильных секций и требования к докладам приведены на сайте Академии <http://donnasa.ru/>. Также приглашаем принять участие в качестве посетителя основных мероприятий.

Вестник и журналы Академии, в которых публикуются представленные в рамках форума материалы, входят в список рецензируемых научных изданий ВАК ДНР, а также в наукометрическую базу РИНЦ и другие международные наукометрические базы данных.

С уважением,
Оргкомитет II Международного строительного форума «Строительство и архитектура»

E-mail: mailbox@donnasa.ru

Научно-практический журнал

СТРОИТЕЛЬ ДОНБАССА

Издается с ноября 2017 г.

№ 1 (2),
2018 г.

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор	Е. В. ГОРОХОВ, д-р техн. наук, проф.
Зам. главного редактора	Н.М. ЗАЙЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.
Выпускающие редакторы	Н.Х. ДМИТРИЕВА Л.Н. ПРОСЯНИК

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

НАУМЕЦ Сергей Сергеевич – Министр строительства и жилищно-коммунального хозяйства ДНР

МУЩАНОВ Владимир Филиппович – проректор по научной работе, зав. кафедрой «Теоретическая и прикладная механика» ГОУ ВПО ДонНАСА, д-р техн. наук, проф.

БРАТЧУН Валерий Иванович – зав. кафедрой «Автомобильные дороги и аэродромы» ГОУ ВПО ДонНАСА, д-р техн. наук, проф.

ЕФРЕМОВ Александр Николаевич – профессор кафедры «Технологии строительных конструкций, изделий и материалов», д-р техн. наук, проф.

ЛЕВИН Виктор Матвеевич – зав. кафедрой «Железобетонные конструкции» ГОУ ВПО ДонНАСА, д-р техн. наук, проф.

ПЕТРАКОВ Александр Александрович – зав. кафедрой «Основания, фундаменты и подземные сооружения» ГОУ ВПО ДонНАСА, д-р техн. наук, проф.

СЕРДЮК Александр Иванович – профессор кафедры «Техносферная безопасность», д-р техн. наук, проф.

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики при поддержке Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Донецкой Народной Республики

АДРЕС РЕДАКЦИИ

86123, Донецкая Народная Республика,
г. Макеевка, ул. Державина, 2, ДонНАСА;
Электронная почта: mailbox@donnasa.ru; journals@donnasa.ru

ООО «Издательско-полиграфическое предприятие «Проминь»
83059, г. Донецк, пр. Ильича, 109а.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Агеев В.Г. – НИИГД «Респиратор»
Бенаи Х.А. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Большаков А.Г. – ИрННТУ, РФ
Братчун В.И. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Брюханов А.М. – Госгортехнадзор ДНР
Бумага А.Д. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Высоцкий С.П. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Гайворонский Е.А. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Горожанкин С.А. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Горохов Е.В. – МОН ДНР
Дорофиев В.В. – ГОУ ВПО «ДонАУиГС при Главе ДНР»
Долженков А.Ф. – ГУ МакНИИ ДНР
Дрозд Г.Я. – ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. Даля»
Ефремов А.Н. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Зайченко Н.М. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Иванов М.Ф. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Куликов Н.И. – ЮРГПУ (НПИ), РФ
Левин В.М. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Левченко В.Н. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Лобов И.М. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Лобов М.И. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Лукьянов А.В. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Мамаев В.В. – НИИГД «Респиратор»
Муксинов Р.М. – КРСУ, Кыргызстан
Мущанов В.Ф. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Нагаева З.С. – КФУ, РФ
Назим Я.В. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Найманов А.Я. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Насонкина Н.Г. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Наумец С.С. – МИНСТРОЙ ДНР
Нездойминов В.И. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Нечипаев В.Г. – ГОУ ВПО «ДонНТУ»
Олексюк А.А. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Пашковский П.С. – НИИГД «Респиратор»
Пенчук В.А. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Петраков А.А. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Пономаренко Е.В. – СамГТУ, РФ
Радионова Т.В. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Севка В.Г. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Семченков Л.В. – МИНСТРОЙ ДНР
Сердюк А.И. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Тищенко В.П. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Шаленный В.Т. – КФУ, РФ
Шолух Н.В. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»
Югов А.М. – ГОУ ВПО «ДонНАСА»



СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДОНБАССА.....4

МАТЕРИАЛЫ

Зайченко Н.М., Лахтарина С.В.

Конструкционный лёгкий бетон с внутренним уходом 7

Братчун В.И., Беспалов В.Л.

Теоретико-методологические положения формирования оптимальных структур комплексно-модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности 17

Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Рыжаков А.Н., Бахтин А.С.

Физико-математическое и компьютерное моделирование процесса принудительной карбонизации систем на основе извести 24

ТЕХНОЛОГИИ

Тринкер А.Б.

Аварии объектов строительства и безопасность..... 35

Зайченко Н.М., Назарова А.В., Соколова А.А.

Цементобетонные дорожные покрытия из самоуплотняющихся бетонных смесей 41

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Петраков А.А., Яркин В.В.

Определение просадок основания при замачивании просадочных грунтов 49

ИНФОРМАЦИЯ

Зайченко Н.М., Петраков А.А., Братчун В.И.

Кафедра строительных материалов, оснований и фундаментов – к 70-летию юбилею начала подготовки инженеров-строителей в Донбассе 55

S U M M A R Y

MATERIALS

Zaichenko N.M., Lakhtaryna S.V. Structural lightweight aggregate concrete with internal curing

The influence of dry or water-saturated lightweight aggregate as well as extra mixing water on the properties of structural lightweight aggregate concrete mixtures and concretes – workability, slump loss, relative humidity change, autogenous shrinkage, degree of cement hydration and compressive strength have been investigated. The formulations of structural lightweight aggregate concretes with compressive strength of 54–56 MPa on the base of internal curing conception to reduce the risk of cracking due to the autogenous shrinkage have been developed (p. 7).

Bratchun V.I., Bepalov V.L. Theoretical and methodological principles for the formation of optimal structures of complex-modified road asphalt concrete of increased durability

With the use of system and regression analysis the theoretical principles that should be implemented when designing compositions and structures of complex-modified asphalt concretes of increased durability have been formulated. It is shown that the production of durable asphalt concrete is achieved with an optimum quantitative ratio between the micro-, meso- and macrostructure of the composite material. The most radical way of modifying the frame asphalt concrete is the physicochemical effect on the organic binding thermoplastic elastomer in combination with technical sulfur or terpolymer (ethyleneglycidylacrylate) together with polyphosphoric acid with simultaneous surface activation of mineral materials by polymer solutions (p. 17).

Lubomorskiy N.V., Fedorkin S.I., Ryzhakov A.N., Bakhtin A.S. Physical and mathematical and computer model operation of process of the forced carbonization of systems on the basis of lime

In the article the mathematical model of dynamic process of the forced carbonaceous concreting of lime which represents the system of the non-linear differential equations in partial derivatives describing time history of concentration initial and the formed substances taking into account influence of humidity and temperature, processes of diffusion and convective diffusion of molecules of the reagents accompanying process of a carbonization of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is offered. It is shown that by means of computer model operation it is possible to study in a complex processes which research by the experimental methods difficult and demands the composite inventory (p 24).

S U M M A R Y

TECHNOLOGIES

Trinker A.B. **Accidents of construction sites and security**

In this article it is noted that the catastrophes, which were happened in the middle of the last century, were the cause of creation of new materials, technologies and basic normative documents to prevent new technogenic catastrophes. The industrial constructions operated in XXI century were constructed 40-50 years ago. They are needed periodic inspections by skilled experts (p. 35).

Zaichenko N.M., Nazarova A.V., Sokolova A.A. **Cement concrete road pavements on the base of Self-compacting concrete**

The expediency of using cement concretes for the device of road surface coatings is considered, the main advantages in comparison with traditional asphalt-concrete coatings are given. It is shown that the use of self-compacting concrete mixes ensures the improvement of the quality and durability of concrete slabs, and also significantly reduces the labor intensity of work. The compositions of self-compacting concrete mixtures for hard road coverings have been developed. A key role for matching concrete mixes with molding conditions is given to additives, incl. viscosity modifiers.

ENGINEERING

Petrakov A.A., Yarkin V.V. **Determination of subsidence by means of soaking subsidence soils**

The article analyzes the method for calculating subsidence deformations from the external load and the soils own weight in accordance with the current regulatory documents of Russia and Ukraine. The results of a comparative analysis are presented taking into account the dimensions of the basement, the value of the external load on the base, the thickness of the subsidence layer and the relative subsidence of the soil. Proposals are made to improve the method of determining subsidence deformations (p. 49).

INFORMATION

Zaichenko N.M., Petrakov A.A., Bratchun V.I. **The Department of Construction materials, basis and foundations – to the 70-th Anniversary of the beginning training of civil engineers in Donbas.**

The authors consider the historical stages of formation and development of the Department of Construction Materials, Basis and Foundations of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (p. 55).



C O N T E N T S

NEWS OF CONSTRUCTION INDUSTRY OF DONBAS 4

MATERIALS

Zaichenko N.M., Lakhtaryna S.V.

Structural lightweight aggregate concrete with internal curing 7

Bratchun V.I., Bepalov V.L.

Theoretical and methodological principles for the formation of optimal structures of complex-modified road asphalt concrete of increased durability..... 17

Lubomorskiy N.V., Fedorkin S.I.,

Ryzhakov A.N., Bakhtin A.S.

Physical and mathematical and computer model operation of process of the forced carbonization of systems on the basis of lime 24

TECHNOLOGIES

Trinker A.B.

Accidents of construction sites and security..... 35

Zaichenko N.M., Nazarova A.V.,

Sokolova A.A.

Cement concrete road pavements on the base of Self-compacting concrete 41

ENGINEERING

Petrakov A.A., Yarkin V.V.

Determination of subsidence by means of soaking subsidence soils 49

INFORMATION

Zaichenko N.M., Petrakov A.A., Bratchun V.I.

The Department of Construction materials, basis and foundations – to the 70-th Anniversary of the beginning training of civil engineers in Donbas 55

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И РАБОТА НА ПЕРСПЕКТИВУ



«В истории не было прецедента, когда воюющая страна одновременно занималась бы восстановлением разрушенного агрессором».

Министр строительства
и жилищно-коммунального
хозяйства ДНР
Сергей НАУМЕЦ

В январе исполнилось три года с момента создания Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Донецкой Народной Республики. О том, что было сделано за этот период, рассказал Министр строительства и жилищно-коммунального хозяйства ДНР Сергей НАУМЕЦ.

10 января 2015 г. Председатель Совета Министров Александр Захарченко подписал Постановление № 1-36 «О создании Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Донецкой Народной Республики и утверждении Положения и структуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Донецкой Народной Республики». Из двух профильных министерств — строительства и ЖКХ — было создано одно. Объединить эти две разные отрасли под одним ведомством пришлось исходя из реалий времени. Объединяющим фактором послужила необходимость восстановления и поддержание в порядке пострадавшей инфраструктуры.

Работать эти три года пришлось в непростых условиях. Наверное, в истории ещё не было прецедента, когда воюющая страна одновременно занималась бы восстановлением разрушенного агрессором. Восстановление в Республике началось с момента первых разрушений, и с тех пор ведётся по всем возможным направлениям — в рамках государственных программ, при помощи благотворительных организаций, а также в частном порядке — как личная инициатива граждан.

По информации о процессе восстановления частных и многоквартирных жилых домов, поступающей ежеквартально от администраций городов Республики и обобщаемой Министерством строительства и ЖКХ ДНР, по состоянию на 20.01.2018 г. на территории Донецкой Народной Республики повреждены в результате боевых действий свыше 26 тысяч объектов жилого фонда. Повреждены тысячи объектов социальной инфраструктуры. В жилье нуждаются порядка 3000 семей, оставшихся без крова в результате боевых действий.

В силу объективных причин у Донецкой Народной Республики не было возможности охватить процессом восстановления сразу все пострадавшие объекты инфраструктуры. Поэтому процесс восстановления был разбит на этапы. Минстрой разработал и продолжает реализовывать программы восстановления объектов, разрушенных в результате боевых действий. Реализуются и близки к завершению программа восстановления многоквартирных домов (в рамках второго и третьего этапов охвачено 1343 дома), программа восстановления важнейших объектов социальной сферы (в рамках первого — третьего этапов охвачено 853 объекта).

Реализована программа манёвренного фонда, в рамках которой построены три многоквартирных дома в городах Дебальцево, Горловка, Юнокоммунаровск, что позволило обеспечить Республику 90 квартирами.

Построено вместо полностью разрушенных 129 домов в Дебальцево, Иловайске, Угледорске, Шахтерске, Зугрэсе, Донецке. В рамках программы восстановления частного сектора пострадавшим владельцам выданы стройматериалы на 3728 домов. За счёт средств гуманитарного фонда реализуется Программа восстановления 200 частных



Достроенный по программе «манёвренного фонда» пятиэтажный жилой дом в микрорайоне Восточный г. Дебальцево



*Реконструкция двух зданий
бывшего общежития
по ул. Розы Люксембург 2 и 2 а*



*Торжественное мероприятие
по вводу в эксплуатацию
отремонтированных зданий*

жилых домов, повреждённых в результате боевых действий. Осуществлена реконструкция двух зданий бывшего общежития по улице Розы Люксембург 2 и 2а (г. Донецк), что позволило обеспечить Республику 149 квартирами.

Активнейшее участие в восстановлении разрушенного жилья принимают коммунальные предприятия. Силами жилищных организаций восстановлены сотни многоквартирных жилых домов, получивших повреждения в ходе боевых действий.

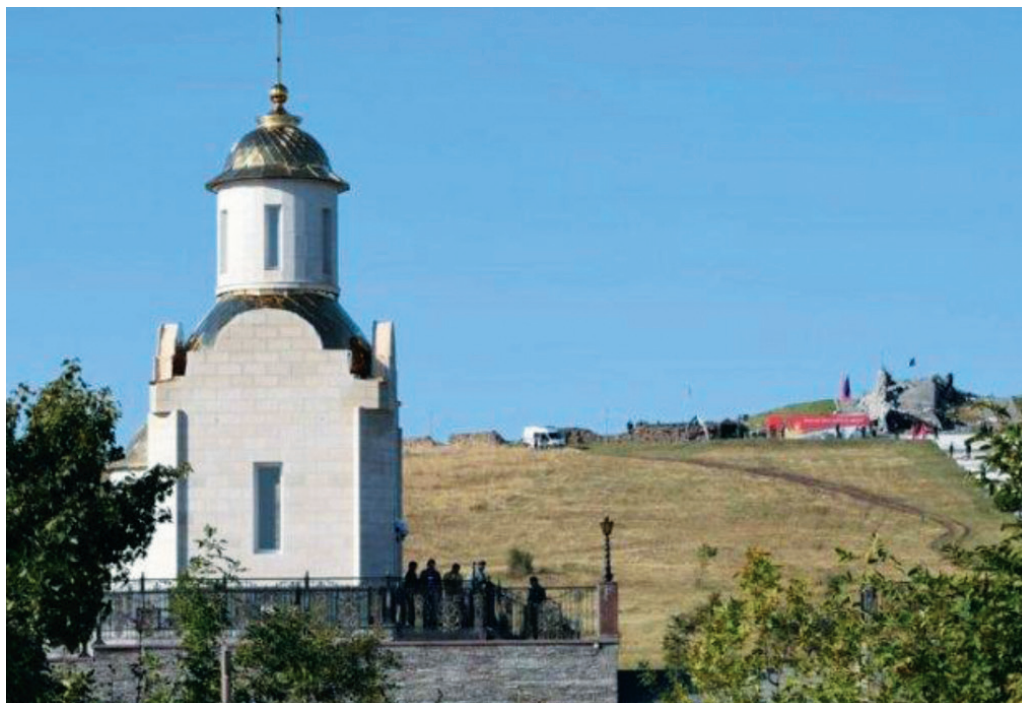
Проведена реконструкция угольной котельной под газовое отопление в посёлке Александровка.

В рамках первой очереди восстановления завершено строительство часовни и проведено благоустройство прилегающей территории на мемориальном комплексе «Саур-Могила».

Активно велась и ведётся работа над формированием законодательной базы в сфере строительства и ЖКХ. В планах Министерства на 2018-й год — программы развития манёвренного фонда, восстановления соцсферы и многоквартирных домов, возобновление строительства муниципальных нестроений, продолжение восстановления частного сектора.



Благоустройство прилегающей территории на мемориальном комплексе «Саур-Могила»



На Саур-Могиле в честь 74-летия освобождения Донбасса открылась часовня

УДК 691.327.32

КОНСТРУКЦИОННЫЙ ЛЁГКИЙ БЕТОН С ВНУТРЕННИМ УХОДОМ

Н.М. ЗАЙЧЕНКО, доктор техн. наук, профессор,

С.В. ЛАХТАРИНА, канд. техн. наук

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Выполнены исследования влияния пористого заполнителя в сухом, водонасыщенном состоянии, а также количества дополнительной воды затворения на показатели легкогобетонной смеси и бетона — удобоукладываемость смеси, сохраняемость подвижности, объём вовлечённого воздуха, изменение внутренней влажности в процессе твердения, аутогенную усадку, степень гидратации цемента, среднюю плотность и предел прочности при сжатии. Разработаны составы конструкционных лёгких бетонов с показателями предела прочности при сжатии 54–56 МПа на основе концепции внутреннего ухода для снижения риска трещинообразования вследствие развития аутогенной усадки.

Ключевые слова: конструкционный лёгкий бетон, внутренний уход, аутогенная усадка, трещинообразование.



*Зайченко
Николай Михайлович*



*Лактарина
Сергей Викторович*

Введение. В практике современного строительства с каждым годом всё большее распространение получают конструкции и изделия из высокопрочного лёгкого бетона. Анализ целого ряда уникальных проектов, реализованных в мировой практике строительства, показывает, что при проектировании и возведении зданий нового поколения в ближайшее время специалисты будут стремиться к тому, чтобы собственный вес здания был минимальным. Это особенно актуально для больших городов, где существует острый дефицит земельных участков, и проектировщики вынуждены проектировать здания большой этажности. В то же время основания под этими зданиями зачастую могут быть ослаблены в результате прокладки различных инженерных коммуникаций [1].

Целесообразным представляется также снижение веса зданий при строительстве в регионах с различными подрабатываемыми горными выработками территориями (например, угольные шахты). Практически в любых условиях строительства снижение веса проектируемого здания позволяет экономить арматурную сталь (уменьшение процента армирования кон-

струкций) и бетон за счёт снижения нагрузок на фундаменты и несущие конструкции.

Практическим способом решения этой задачи является разработка и применение конструкционных лёгких бетонов.

Конструкционный лёгкий бетон наиболее широко апробирован и применяется в настоящее время в США, Австралии, Японии, Германии, Австрии, Венгрии и др. развитых странах. Высокая эффективность конструкционного лёгкого бетона показана в реализованных проектах различных высотных зданий, например, Australian Square, г. Сидней; Picasso Tower, г. Мадрид; Like Point Tower, г. Чикаго; административные здания высотой 218, 222 и 310 м, г. Хьюстон; правительственное здание Tokyo City Hall, г. Токио; административные здания Assembly Hall University, г. Чикаго, аэропорт Кеннеди, г. Нью-Йорк.

Повышение прочности при сжатии лёгких бетонов определённой средней плотности, в принципе, базируется на повышении прочности, плотности и жёсткости матрицы строительного раствора, как правило, уменьшении водоцементного отношения

и применения комплекса химических и минеральных модификаторов [1]. Многочисленными исследованиями установлен положительный эффект применения активных минеральных добавок (микрокремнезём, зола-уноса ТЭС) взамен части портландцемента, а также золошлаковой смеси взамен части плотного мелкого заполнителя [2-5]. Повышение прочности лёгкого бетона при добавлении микрокремнезёма и золы-уноса обусловлено повышением прочности сцепления между цементной матрицей и пористым заполнителем, а также уплотнением контактной зоны. Это результат как физического, так и химического факторов — микрозаполнитель обеспечивает снижение пористости контактной зоны и повышение плотности микроструктуры, а пуццолановая активность способствует формированию прочных связей между цементной матрицей и поверхностью заполнителя в результате образования низкоосновных гидросиликатов кальция, что подтверждается данными сканирующей электронной микроскопии [5].

В то же время проектирование состава высокопрочного лёгкого бетона с низким значением водоцементного отношения и повышенным расходом вяжущего в сочетании с комплексом минеральных и химических добавок-модификаторов обуславливает риск трещинообразования бетонов в раннем возрасте твердения вследствие развития усадочных деформаций, вызванных самовысыханием бетона — аутогенной усадкой.

Образование трещин в бетонных и железобетонных конструкциях снижает их долговечность вследствие попадания различных агрессивных веществ в эти трещины, что обуславливает развитие коррозии бетона и потерю его защитных свойств по отношению к арматурной стали [6-7]. Ремонт и восстановление конструкций, как правило, связаны с высокими показателями трудоёмкости и капитальных затрат, поэтому более экономичными являются мероприятия по предотвращению трещинообразования в бетоне [8-9].

Одним из важнейших условий минимизации усадки и трещинообразования бетона в раннем возрасте является правильный уход за бетоном, наряду с модификацией цемента, применением минеральных и химических добавок. За последние десятилетия научными школами под руководством известных отечественных и зарубежных учёных: Powers, T.C., Jensen, O.M., Bentz, D.P., Geiker, M.R., Lura, P., Hoff, G.C., Zhutovsky, S., Ковлер К., Фаликман В. и др. выполнены теоретические и экспериментальные исследования оптимизации процесса внутреннего ухода за бетоном.

Специалистами международного комитета по уходу за бетоном RILEM [10] предложена классификация способов ухода за бетоном, основанных на контроле его влажности, которая предусматривает

как внешний (водный и безводный), так и внутренний (водный и безводный) уход. Из литературных источников известно, что R. Philleo [11] одним из первых в 1990 году предложил использовать предварительно водонасыщенные пористые заполнители (Light Weight Aggregates — LWA) в качестве компонентов (агентов) внутреннего ухода за бетоном.

Введение высокопористого заполнителя в плотную цементную матрицу оказывает существенное влияние на механические характеристики бетона. В большинстве случаев отмечено отрицательное воздействие пористых заполнителей на прочность бетона в раннем возрасте. Тем не менее, влияние данного вида заполнителей на прочность зрелого бетона является переменным и зависит от вида заполнителя и его содержания, наличия химических добавок [12]. Так, по данным [6] частичная замена (до 25 %) плотного песка водонасыщенным пористым не оказывает отрицательного влияния на прочность при сжатии.

Пористые заполнители вследствие своей способности к влагообмену с цементным тестом в большей мере, чем плотные заполнители, влияют на процессы структурообразования [13-14]. На первом этапе пористые заполнители, поглощая влагу, способствуют получению более плотного и прочного контактного слоя на поверхности раздела фаз «цементный камень — пористый заполнитель». На втором этапе, при уменьшении количества воды в цементном камне вследствие гидратации цемента, пористые заполнители возвращают ранее поглощённую воду, создавая благоприятные условия для твердения цемента и уменьшая усадочные деформации в цементном камне.

Кроме того, более низкий модуль упругости пористых заполнителей и более совершенная контактная зона вокруг зёрен заполнителя благодаря их пористой структуре поверхности (рис. 1) обеспечивают снижение концентраций напряжений в контактной зоне, что снижает риск раннего трещинообразования в бетоне [13].

В процессе приготовления легкобетонной смеси пористые заполнители обычно предварительно перемешивают с водой перед добавлением цемента.

Так, в работе [15] сообщается, что примерно шесть литров дополнительной воды на кубический метр лёгкого бетона необходимо для повышения подвижности на 25 мм. Таким образом, это обычная практика — предварительно водонасыщать пористые заполнители перед их дозированием [16]. В то же время в лабораторных условиях обычно используется предварительное водонасыщение заполнителя в течение 24 ч перед перемешиванием бетонной смеси. Однако в реальных условиях производства предварительное водонасыщение пористых заполнителей не всегда практично.

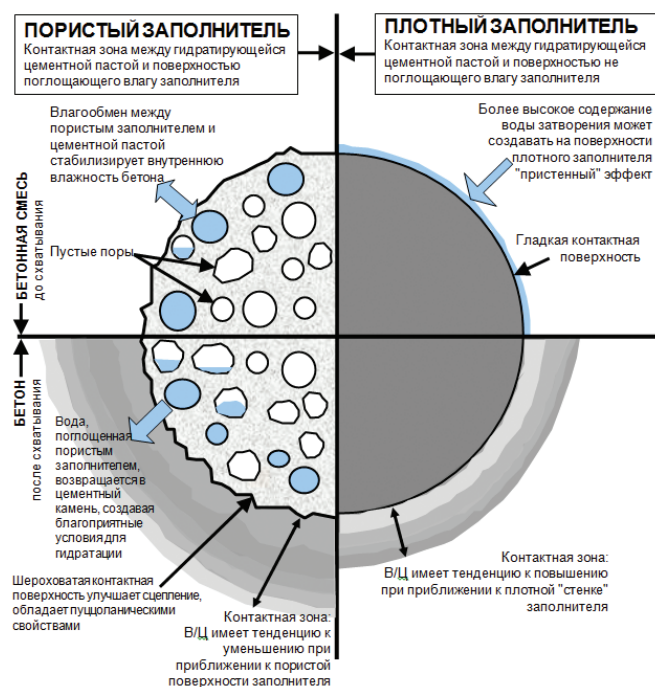


Рис. 1. Сравнительные характеристики контактной зоны с пористым и плотным заполнителями [Expanded Shale, Clay & Slate Institute, Salt Lake City, UT]

Многие производители готового товарного бетона, как правило, предварительно увлажняют заполнитель на складах хранения путём разбрызгивания на него воды. На некоторых заводах применяется технология предварительного вакуумного водонасыщения пористых заполнителей, при этом заполнитель характеризуется высокой и регулируемой влажностью [17].

В некоторых случаях для предотвращения потери удобоукладываемости бетонных смесей применяется способ отсроченного добавления воды затворения непосредственно перед укладкой бетонной смеси на строительной площадке.

При использовании сухого пористого заполнителя эффект потери подвижности бетонной смеси может быть компенсирован введением избыточного количества воды затворения сверх расчётного для исходной подвижности. В этом случае избыток воды затворения поглощается пористым заполнителем, не влияет на величину эффективного В/Ц отношения и не снижает прочность бетона [13].

В данной работе выполнены исследования влияния пористого заполнителя в сухом и водонасыщенном состоянии, а также количества дополнительной воды затворения на показатели легковесной смеси и бетона — удобоукладываемость смеси, сохраняемость подвижности, объём вовлечённого воздуха, изменение внутренней влажности в процессе твердения, аутогенную усадку, среднюю плотность и предел прочности при сжатии.

Материалы и оборудование. В качестве вяжущего использован портландцемент (ПЦ) завода Aalborg (Дания) СЕМ I-52,5N (активность 625 кгс/см²; нормальная густота 24,5 %); активной минеральной добавки — микрокремнезём (МК) Elkem Microsilica (Норвегия). Мелким заполнителем служил песок кварцевый (П) с показателем модуля крупности $M_k=2,75$. В качестве крупного пористого заполнителя использовали гравий керамзитовый (ГК) компании Leca (Дания) фракции 4–8 мм с округлой формой зёрен (насыпная плотность 385 кг/м³, средняя плотность зерна 710 кг/м³, водопоглощение в течение 24 часов — 28,6 %). В качестве суперпластификатора (СП) использована добавка Sika Viscocrete-2300 HE.

Было приготовлено четыре состава бетонов: состав № 1 — цементно-песчаный раствор с В/Ц отношением 0,25; в составах № 2, 3, 4 часть раствора (40% по объёму) была заменена пористым заполнителем в водонасыщенном состоянии (состав № 2), сухом состоянии (состав № 4), сухом состоянии, с гидрофобизированной поверхностью (состав № 3).

Согласно [18] количество воды в литрах на 1 м³ бетона для внутреннего ухода можно определить по следующей формуле:

$$V_{\text{wat}} (\text{м}^3 \text{ воды} / \text{м}^3 \text{ бетона}) = \frac{C_f \cdot CS \cdot \alpha_{\text{max}}}{\rho} \quad (1)$$

где: C_f (кг/м³) — содержание цемента в смеси;
 CS (0,06 кг воды на 1 кг цемента) — химическая усадка цемента;
 α_{max} — максимальная степень гидратации цемента (0–1);
 ρ — плотность воды (1000 кг/м³).

Для бетонов с В/Ц отношением ниже 0,40 цемент не гидратируется полностью, и максимальное значение степени гидратации можно определить как (В/Ц)/0,40 [18].

Согласно формуле (1) объём дополнительной воды для состава № 4 составляет 0,025 м³. Состав бетонных смесей представлен в таблице 1.

Технологические свойства бетонных смесей, в частности, подвижность и её потерю во времени, определяли по диаметру расплыва стандартного конуса Абрамса. Диаметр расплыва бетонной смеси измеряли каждые 20 минут после перемешивания на горизонтальной поверхности в двух перпендикулярных направлениях. За показатель подвижности принимали среднее значение.

Для определения механических свойств бетона, в частности предела прочности при сжатии, были изготовлены по девять образцов цилиндрической

Таблица 1. Состав бетонных смесей

№	Состав	ПЦ, кг/м ³	МК, кг/м ³	П, кг/м ³	В, л/м ³	ГК, кг/м ³	СП, л/м ³	Воздух, %
1	ГК 0 %	1113	167	779	250	—	13,4	4,5
2	ГК 40 % (водонасыщенный)	667	100	467	159	300	8,0	3,1
3	ГК 40 % (сухой, гидрофоб.)	667	100	467	159	300	8,0	3,1
4	ГК 40 % (сухой+15 % дополнит. воды)	667	100	467	159+25	300	8,0	4,3

формы размерами 60×120 мм для каждого состава. После 24 часов твердения образцы были расформованы и твердели при постоянной температуре +30 °С без обмена влагой с окружающей средой. Предел прочности при сжатии определяли в возрасте 1, 7 и 14 суток твердения согласно [19].

Кинетику изменения внутренней влажности бетонов определяли на станции Rotronic Hygroscope DT в течение 14 суток твердения образцов без обмена влагой с окружающей средой при постоянной температуре +30 °С (рис. 2).

Аутогенная усадка измерялась с помощью автоматизированного дилатометра конструкции О.М. Йенсена и П.Ф. Хансена [20]. Бетонную смесь после перемешивания укладывали и уплотняли в гофрированную поливинилхлоридную трубу длиной 350 мм и внутренним диаметром 82 мм.

Образцы бетона твердели в бассейне с полиг-ликолем в течение 14 суток при постоянной температуре +30 °С. (рис. 3). Измерения деформаций проводились с помощью электронного индикатора TRANSTEK серии 305 с точностью до 0,003 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ОБСУЖДЕНИЕ

Подвижность бетонной смеси

Показатель подвижности бетонных смесей и потерю её во времени исследовали в течение 60 минут после перемешивания. Как видно из рисунка 4, все бетонные смеси теряют подвижность в течение 60 минут. Состав № 2, в котором пористый заполнитель предварительно водонасыщен, характеризуется минимальным значением потери подвижности — около 7 %. Вода затворения не поглощается пористым заполнителем, и небольшая величина потери подвижности связана, вероятнее всего, с адсорбцией суперпластификатора на поверхности продуктов гидратации вяжущего вещества.

При введении дополнительного количества воды затворения в количестве 15 % (состав № 4) начальная подвижность бетонной смеси аналогична подвижности состава № 2. Однако потери подвижности через 60 минут составили 24 %. Это свидетельствует о значительном поглощении пористым заполнителем воды затворения. Теоретически, согласно кинетике



Рис. 2. Станция Rotronic Hygroscope DT для измерения внутренней влажности бетонов



Рис. 3. Автоматизированный дилатометр для измерения аутогенной усадки бетонов

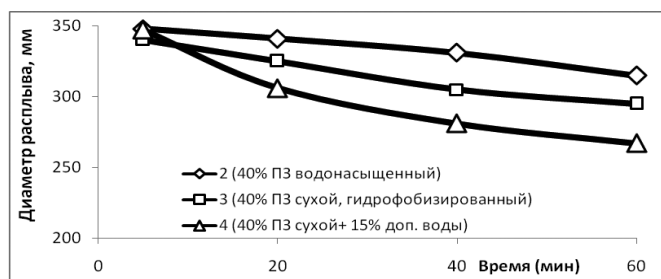


Рис. 4. Изменение подвижности бетонных смесей в процессе выдержки после приготовления

водопоглощения в течение 24 часов в воде пористый заполнитель за три часа (соответствует времени конца схватывания цементного теста) поглощает около 23 % воды. Следовательно, 300 кг пористого заполнителя способно поглотить 69 литров воды. Соответственно, объём дополнительной воды затворения в количестве 25 литров, необходимый для внутреннего ухода бетона, недостаточен для компенсации потерь подвижности бетонной смеси.

При введении сухого заполнителя с гидрофобизированной поверхностью (состав № 3) потери подвижности составляют 17 %, что указывает на то, что гидрофобная плёнка на поверхности зерна заполнителя не полностью блокирует проникновение влаги внутрь зерна.

Аутогенная усадка

Как видно из рисунка 5, значительное увеличение аутогенной усадки бетона состава № 1 (раствор) приходится на время твердения от 5 до 24 часов, когда деформации достигают значения 2200 мкм/м. В тот же период твердения наблюдается резкое падение значения внутренней влажности системы — от 100 до 93 % (рис. 6). Дальнейшее уменьшение внутренней влажности системы (период между 2 и 5 сутками) несколько стабилизируется. Однако в возрасте 14 суток величина внутренней влажности цементной

системы снижается до значения 80 %. Одновременно с уменьшением значения внутренней влажности происходит увеличение величины аутогенной усадки раствора до 2600 мкм/м. Таким образом, большая часть аутогенной усадки раствора, вызванной внутренним самовысыханием, развивается в течение первых семи суток гидратации.

Следовательно, можно предположить, что для предотвращения в конструкционных лёгких бетонах микротрещинообразования в раннем возрасте вследствие развития аутогенной усадки должны быть предприняты меры по уходу за бетоном, которые будут эффективными, по крайней мере, в течение первой недели твердения.

Как следует из данных рисунка 7, при замене части раствора пористым заполнителем во всех случаях в начальный период твердения (48 часов) происходит небольшое расширение системы с последующим развитием усадки и растягивающих напряжений в составах № 3 и № 4. Однако в составе № 2 при использовании предварительно водонасыщенного пористого заполнителя даже в возрасте 14 суток наблюдается расширение системы.

Следует отметить, что в этот период бетон сохраняет значение относительной влажности в пределах 97–96,6 % (рис. 8). В то время, когда механизм внутреннего ухода, способствующий снижению аутогенной усадки, достаточно хорошо известен, механизмы, приводящие к расширению твердеющей системы в раннем возрасте, изучены не так детально. Расширение, скорее всего, вызвано давлением кристаллов этtringита либо набуханием гелевидных продуктов гидратации, которые, как правило, рассматривают как основные причины расширения системы в раннем возрасте [21]. Таким образом, аутогенная усадка полностью предотвращается в конструкционном лёгком бетоне при использовании предварительно водонасыщенных пористых заполнителей.

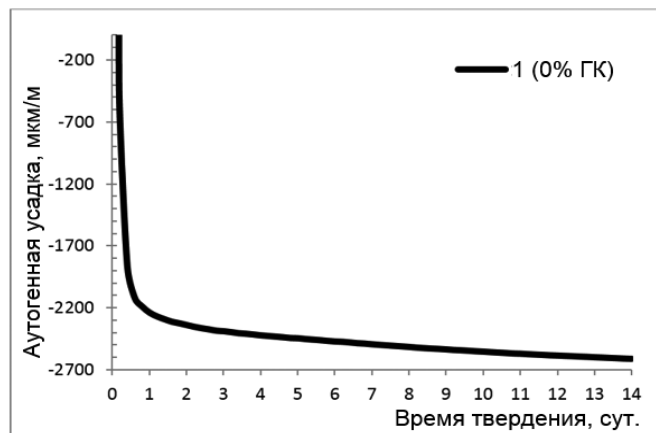


Рис. 5. Изменение аутогенной усадки бетона в процессе твердения

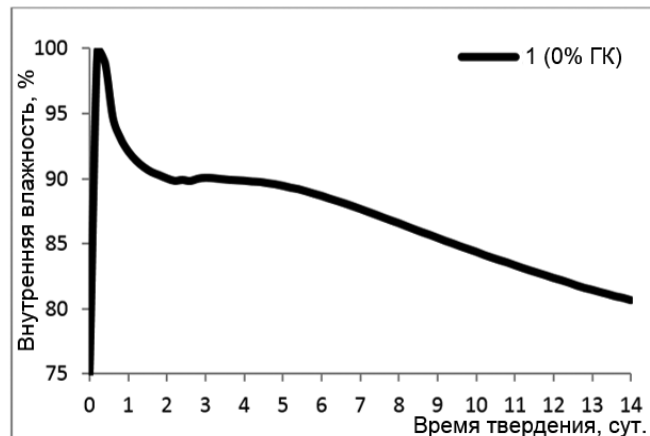


Рис. 6. Изменение внутренней влажности бетона в процессе твердения

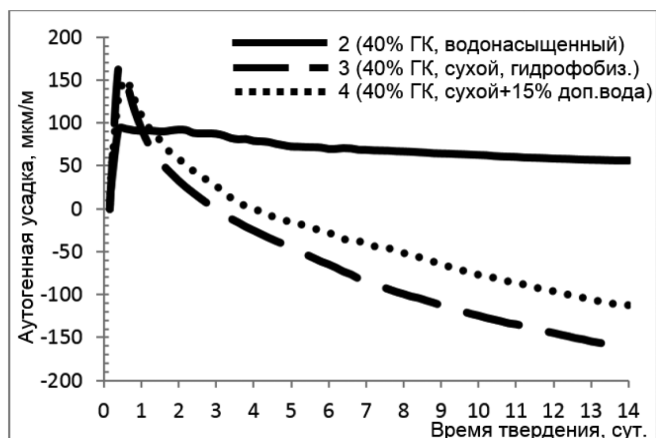


Рис. 7. Изменение аутогенной усадки бетона в процессе твердения

При замене части раствора сухим пористым заполнителем (составы № 3, 4) аутогенная усадка достигает значения 160 и 100 мкм/м, соответственно. Постепенное увеличение аутогенной усадки с 3 по 14 сутки твердения сопровождается уменьшением значения внутренней влажности бетонов в пределах от 93–95 до 81–83 %.

Гидрофобизация поверхности керамзитового гравия (состав № 3) не устраняет проблемы развития аутогенной усадки. С другой стороны, введение дополнительной воды затворения также не решает полностью эту проблему, однако величина аутогенной усадки $\varepsilon = -100 \times 10^{-6}$ не является критичной для развития раннего трещинообразования, вероятность которого является наибольшей, когда отношение усадочных напряжений к пределу прочности при растяжении цементного камня достигает максимума (12–36 часов) [22].

По данным РФА проб цементного камня, отобранных после механических испытаний бетона (составы № 1–4), отмечены изменения интенсивности дифракционных отражений минерала алита. Для проб цементного камня, соответствующих составу бетона с сухим пористым заполнителем (состав № 3) в сравнении с составом бетона, где использовался предварительно водонасыщенный (состав № 2) и сухой заполнитель, с дополнительной водой затворения для внутреннего ухода (состав № 4), можно отметить более характерное повышение интенсивностей основных линий алита: $d=0,280$; $0,277$; $0,232$; $0,183$; $0,154$ нм (рис. 9, рис. 10, табл. 2).

Наряду с этим для бетона состава № 3 наблюдается повышение интенсивности дифракционных отражений, характерных для образующегося в процессе гидратации портландцемента минерала портландита: $d=0,263$; $0,193$; $0,169$ нм. В то же время для бетонов, где пористый заполнитель используется как агент внутреннего ухода (составы № 2 и № 4), наблюдается повышение интенсивности дифракционных

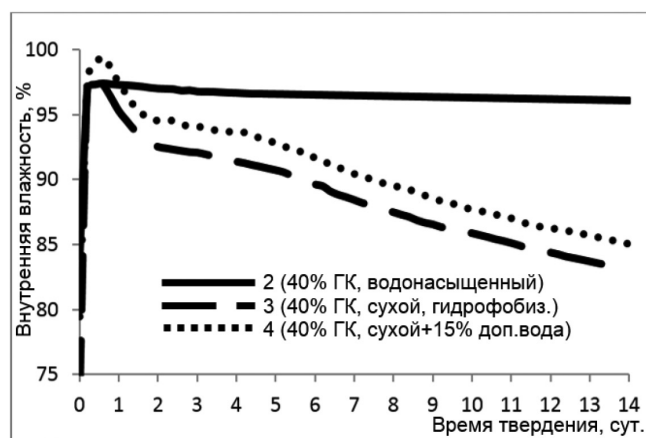


Рис. 8. Изменение внутренней влажности бетона в процессе твердения

отражений гидросиликатов кальция: C_3SH_2 , C_2SH_2 и $CSH(B)$, что свидетельствует о более высокой степени гидратации цемента и более высокой

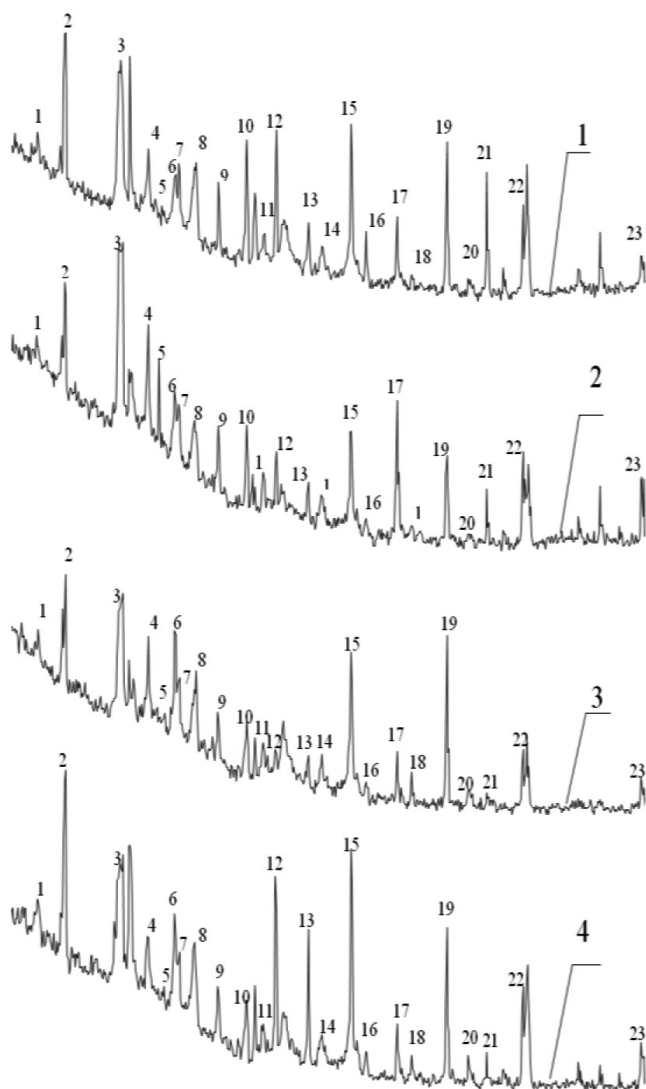


Рис. 9. Рентгенограммы образцов цементного камня в возрасте 14 суток твердения (обозначение см. табл. 2)

Таблица 2. Характеристика рентгенограмм проб цементного камня

№ реплики	2Θ, град.	d, нм	Интенсивность реплик для образцов бетона			
			Состав 1	Состав 2	Состав 3	Состав 4
54CaO • 16SiO ₂ • Al ₂ O ₃ • MgO						
5	30,11	0,297	12,5	49,8	33,9	14,8
6	31,77	0,280	66,5	64,4	156	74,9
7	32,13	0,277	71,8	56,8	90,2	46,1
9	36,21	0,245	49,1	44,2	77,7	41,7
10	39,07	0,232	113,3	61,5	83,3	39,8
11	40,86	0,218	28,9	32,3	38,9	11,8
15	49,81	0,183	147,4	98,6	182,6	136,12
16	51,31	0,176	48,8	15,7	21,6	17,6
18	56,01	0,162	16,8	16,3	24,2	11,8
19	59,6	0,154	123,5	82,6	160,6	82,3
20	61,82	0,149	14,4	12,5	25,6	13,3
Ca(OH) ₂						
8	33,87	0,263	84,8	50,2	106,6	70
14	46,84	0,193	35,1	31,3	53,1	24,6
17	54,11	0,169	61,2	93,7	44,2	29,5
21	64,01	0,145	95	38,1	16,8	12,6
CSH (B)						
4	29,01	0,307	77,2	102,4	54,8	107,7
12	42,98	0,210	58,7	23,6	39,6	99,7
23	79,55	0,122	25	51,6	36,9	26,4
C ₂ SH ₂						
13	45,42	0,200	47,5	33,6	48,7	65,2
22	66,98	0,140	72,1	71,8	71	60,7
C ₃ SH ₂						
1	17,65	0,502	35,6	42,7	21,1	31

интенсивности связывания оксида кальция CaO с микрокремнезёмом, который содержит в своём составе химически активный оксид кремния SiO₂.

Для бетона состава № 3 отмечена также меньшая интенсивность некоторых линий, идентифицирующих минерал этtringит: d=0,441; 0,344 нм.

Таким образом, вышеприведённое описание рентгенограмм объясняет причину замедленного роста прочности бетона состава № 3 в ранние сроки твердения (рис. 11).

Частичная замена раствора (состав № 1) пористым заполнителем значительно снижает показатели предела прочности при сжатии бетона. Наибольшее значение предела прочности при сжатии лёгкого бетона наблюдается при введении предварительно водонасыщенного пористого заполнителя (состав № 2). Лёгкий бетон с дополнительной водой затвердения

(состав № 4) характеризуется более высокими значениями прочности в раннем возрасте.

Таким образом, введение дополнительной воды затвердения в бетон с сухим пористым заполнителем не предотвращает потери подвижности бетонной смеси в течение 60 минут после перемешивания, однако способно минимизировать развитие аутогенной усадки бетона, особенно в ранние сроки твердения. Предварительное водонасыщение пористых заполнителей способствует сохранению подвижности бетонной смеси в течение 60 минут, а также полностью предотвращает развитие аутогенной усадки как результат внутреннего ухoda.

Степень гидратации цемента рассчитана путём определения химически связанной воды в возрасте 7 и 14 суток твердения при температуре +30 °C в замкнутых условиях, т. е. без обмена влагой с окружающей средой.

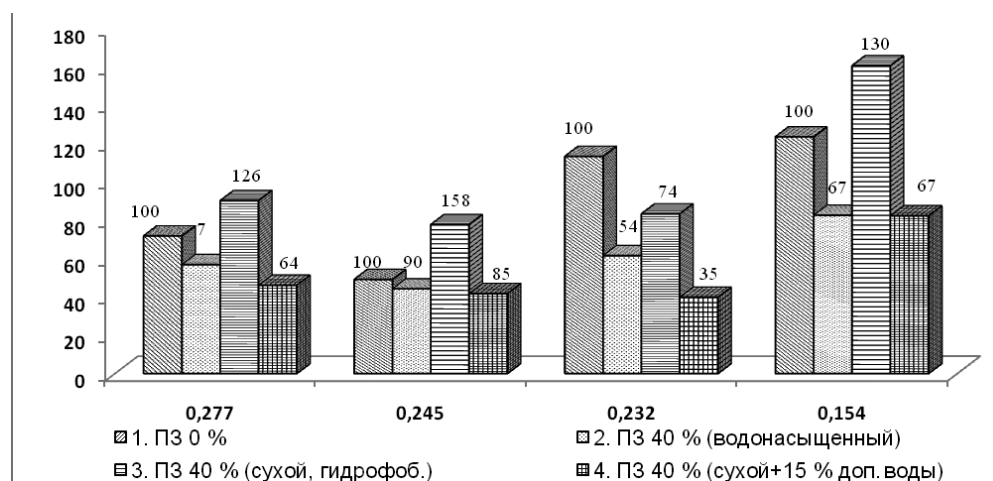


Рис. 10. Относительная интенсивность (%) основных линий алимта

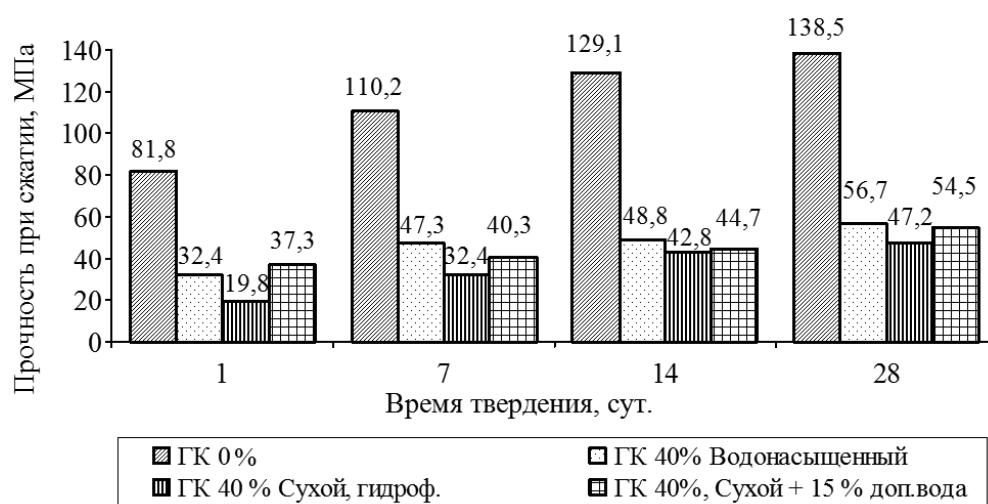


Рис. 11. Кинетика роста прочности при сжатии бетонов

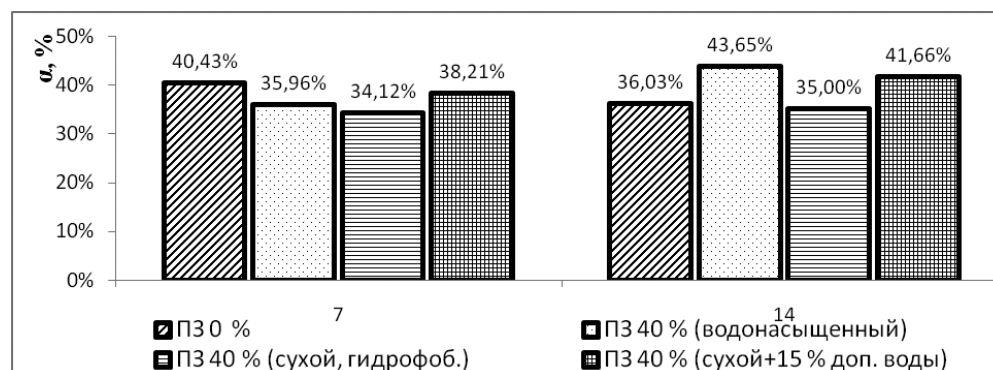


Рис. 12. Степень гидратации цемента при твердении 7 и 14 суток при температуре +30 °C

Степень гидратации цементного камня контрольного состава № 1 – цементно-песчаного раствора, в возрасте 14 суток составляет 36,03 % (рис. 12).

Предварительное водонасыщение пористого заполнителя (состав № 2) приводит к повышению степени гидратации цементного камня в 14 суточном возрасте до 43,65 %. При использовании сухого

пористого заполнителя с гидрофобизированной поверхностью (состав № 3) степень гидратации цементного камня на 7 сутки составляет 34,12 %, к 14 суткам твердения составляет 35 %.

При введении дополнительной воды затворения, необходимой для внутреннего ухода (состав № 4), степень гидратации цемента в возрасте 7 суток

составляет 38,21 %, что выше на 2,25 %, чем степень гидратации цемента состава № 2 за аналогичный период, где использовался предварительно водонасыщенный керамзит. Эти данные объясняют более высокие значения показателя предела прочности при сжатии бетона с дополнительной водой затворения в раннем возрасте (рис. 9). Однако в возрасте 14 суток твердения степень гидратации цементного камня состава № 4 составляет 41,66 %, что на 2 % меньше показателя для бетона состава № 2 (рис. 12).

ВЫВОДЫ

Разработаны составы конструкционных лёгких бетонов с показателями предела прочности при сжатии 54–56 МПа с внутренним уходом с целью снижения риска трещинообразования вследствие развития аутогенной усадки. Установлено, что введение дополнительной воды затворения в бетон с сухим пористым заполнителем не предотвращает потери подвижности бетонной смеси в течение 60 минут после перемешивания, однако способно минимизировать развитие аутогенной усадки бетона, особенно в ранние сроки твердения. Предварительное водонасыщение пористого заполнителя способствует повышению сохраняемости подвижности бетонной смеси в течение 60 минут, а также полностью предотвращает развитие аутогенной усадки как результат внутреннего ухода. По данным рентгенофазового и термогравиметрического анализов установлено, что внутренний уход за бетоном обеспечивает более высокую степень гидратации цементного камня, что иллюстрируется снижением интенсивностей дифракционных отражений алита ($d=0,277; 0,232; 0,183; 0,154$ нм) и повышением интенсивности линий гидросиликатов кальция ($d=0,301; 0,247; 0,208$ нм) в сравнении с образцами без внутреннего ухода. Установлено, что введение дополнительной воды затворения позволяет минимизировать аутогенную (собственную) усадку лёгкого бетона до величины $\varepsilon_{ca} = -100 \times 10^{-6}$, которая не является критичной для развития раннего трещинообразования. Это обеспечивается внутренним уходом с поддержанием влажности не менее 90 % в первые семь суток твердения.

Библиографический список

1. Звездов, А.И. Высокопрочные лёгкие бетоны в строительстве и архитектуре / А.И. Звездов, В.П. Фаликман // Деловая слава России. — 2010. — № 4. — С. 106–109.
2. Shannag, M.J. Characteristics of lightweight concrete containing mineral admixtures / M.J. Shannag // Construction and Building Materials. — 2011. — Vol. 25. — pp. 658–662.

3. Bai, Y. Properties of light-weight concrete manufactured with fly ash, furnace bottom ash and Lytag / Y. Bai, R. Ibrahim, P.A.M. Basheer // Intern. Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology. — Beijing, May 20–21, 2004. — pp. 77–88.
4. Sadrekarimi, A. Development of a Light Weight Reactive Powder Concrete / A. Sadrekarimi // Journal of Advanced Concrete Technology. — 2004. — Vol. 2, No 3. — pp. 409–417.
5. Subasi, S. The effects of using fly ash on high strength lightweight concrete produced with expanded clay aggregate / S. Subasi // Scientific Research and Essay. — Vol. 4 (4), April 2009. — pp. 275–288.
6. Hoff, G.C. The Use of Lightweight Fines for Internal Curing of Concrete / G.C. Hoff // Report prepared for Northeast Solite Corporation: Mississippi, Clinton: Hoff Consulting LLC. — August 20, 2002. — 44 pp.
7. Pease, B.J. The role of shrinkage-reducing admixtures on shrinkage, stress development, and cracking / Bradley J. Pease // Thesis for the Degree of Master of Science in Civil Engineering submitted to the Faculty of Purdue University, 2005. — 236 pp.
8. Project Summary Report 0-4098-S «Use of Innovative Materials to Control Restrained Shrinkage Cracking in Concrete Bridge Decks: A Summary» / K. Folliard, C. Smith, M. Brown, G. Sellers // the University of Texas at Austin: Center for Transportation Research. — October 2003.
9. Canpolat, F. SRAs — RECENT STUDIES. Report No. CBU-2003-50, REP-543 / F. Canpolat, T.R. Naik // the University of Wisconsin — Milwaukee: Department of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science. — December 2003.
10. RILEM Report 41. Internal curing of concrete — state of the art. In: Kovler K, Jensen O.M. editors. RILEM Publications S.A.R.L; 2007. — 161 pp.
11. Philleo, R. Concrete science and reality / R. Philleo // Material Science of Concrete II, American Ceramic Society. — 1991. — pp. 1–8.
12. Zhutovsky, S. Effect of internal curing on durability-related properties of high performance concrete / S. Zhutovsky, K. Kovler // Cement and Concrete Research. — 2012. — Vol. 42, No 2. — pp. 20–26.
13. Баженов, Ю.М. Технология бетона: [учебник] / Ю.М. Баженов. — М.: Изд-во АСВ, 2007. — 528 с.
14. ACI 213R-03 (Reapproved 1999) «Guide for Structural Lightweight Concrete» (ACI 213R-03) Reported by ACI Committee 213. — Copyright 2003: American Concrete Institute. — 2003.
15. Gambhir, M.L. Concrete Technology: Theory and Practice: Fifth Edition / Murari Lal Gambhir — Tata McGraw-Hill Education, 2013. — 763 pp.
16. Craig, P. Another look at the drying of lightweight concrete: A comparison of drying times for normal weight and lightweight floors / P. Craig, B. Wolfe // Concrete international. — January 2012. — pp. 53–56.
17. Golias, M. The influence of the initial moisture content of lightweight aggregate on internal curing / M. Golias, J. Castro, J. Weiss // Construction and Building Materials. — Vol. 35. — 2012. — pp. 52–62.
18. Bentz, D.P. Protected paste volume in concrete. Extension to using saturated lightweight fine aggregate / D.P. Bentz, K.A. Snyder // Cement and Concrete Research. — 1999. — Vol. 29, No 3. — pp. 1863–1867.

19. ASTM C 39/C 39M – 03 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens // ASTM International – West Conshohocken Pennsylvania 19428-2959, United States 2007.
20. Jensen, O.M. A dilatometer for measuring autogenous deformation in hardening Portland cement paste / O.M. Jensen, P.F. Hansen // Materials and Structures. – Vol-181 (28). – 1995. – pp. 406–409.
21. Захезин, А.Е. Цементные дорожные бетоны с комплексными добавками на основе алифатических эпоксидных смол : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / А.Е. Захезин. – Челябинск: ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», 2010. – 19 с.
22. Sadrekarimi, A. Development of a Light Weight Reactive Powder Concrete / A. Sadrekarimi // Journal of Advanced Concrete Technology. – 2004. – Vol. 2, No 3. – pp. 409–417.

ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ И ИНЖЕНЕРОВ-СТРОИТЕЛЕЙ



Модифицированные цементные бетоны для устойчивого развития. — Уч. пособие. — Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 474 с.
ISBN 978-5-4486-0132-3

В учебном пособии рассмотрены технология и строительно-технические свойства модифицированных химическими и минеральными добавками цементных бетонов различного назначения, в том числе специальных, отвечающих основным принципам устойчивого развития (долговечность, надёжность, ресурсосбережение и энергоэффективность). Отражены инновационные решения в технологии современных бетонов, вяжущих веществ и заполнителей. Представлена подробная характеристика минеральных добавок и химических модификаторов бетона мировых лидеров строительной химии (BASF, MAPEI, Sika, MC-Bauchemie, GRACE, CORTEC и др.). Приведены действующие нормативные документы (ДСТУ, ГОСТ, ASTM, EN BS), регламентирующие технические требования к бетонам и их компонентам.

По вопросам приобретения издания обращаться:
E-mail: izdat@iprmedia.ru, author@iprmedia.ru

Центр испытаний строительных изделий и конструкций ГОУ ВПО «Донецкая национальная академия строительства и архитектуры» проводит испытания строительных материалов и изделий:

- ❖ **Заполнители бетона:** щебень, гравий, песок природные для общестроительных работ, бетонов, строительных конструкций, изделий, а также их смеси; щебень и песок из доменных, металлургических и сталеплавильных шлаков.
- ❖ **Вяжущие вещества:** цементы общестроительного назначения; цемент сульфатостойкий; гипс; известь строительная.
- ❖ **Бетоны:** бетон тяжёлый, лёгкий, ячеистый; асфальтобетон дорожный и аэродромный.
- ❖ **Растворы строительные.**
- ❖ **Смеси:** смеси бетонные, асфальтобетонные.
- ❖ **Кровельные материалы:** листы асбестоцементные; черепица бетонная, керамическая; мастики кровельные и гидроизоляционные.
- ❖ **Битумы:** битумы нефтяные для дорог и покрытий; эмульсии битумные дорожные.
- ❖ **Строительные изделия:** изделия бетонные тротуарные; плиты из природного и декоративного камня; кирпич и камни стеновые бесцементные, силикатные, керамические, бетонные; плитка керамическая.



E-mail: mailbox@donnasa.ru
Свидетельство об аттестации № ИЛ-021/2017
выдано 13.03.2017 ГП «Донецкстандартметрология»



УДК 625.855.3

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРУКТУР КОМПЛЕКСНО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

В.И. БРАТЧУН, доктор техн. наук, профессор, **В.Л. БЕСПАЛОВ**, канд. техн. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

С использованием системного и регрессионного анализа сформулированы теоретические положения, которые следует реализовать при проектировании составов комплексно-модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности. Получение долговечных асфальтобетонов достигается при оптимальном количественном соотношении микро-, мезо- и макроструктуры композиционного материала. Наиболее радикальным способом модификации каркасного асфальтобетона является физико-химическое воздействие на органическое вяжущее термоэластопластом (бутадиенметилстирольный каучук) в комбинации с технической серой или терполимером (этиленглицидилакрилат) совместно с полифосфорной кислотой ПФК-105 при одновременной поверхностной активации минеральных материалов растворами полимеров.

Ключевые слова: комплексно-модифицированный асфальтобетон, органическое вяжущее, уплотняемость, термостабильность, сдвигоустойчивость, усталостная долговечность.



*Братчун
Валерий Иванович*

Современные представления об условиях работы асфальтобетонов в покрытиях нежестких дорожных одежд, о составе и структуре нефтяных дорожных битумов, закономерностях структурообразования в: концентрированных растворах полимеров; наполненных полимерных системах; битумополимерных и полимербитумных вяжущих; асфальтовяжущих веществах и асфальтобетонах, и использование системного анализа [1-4] позволили: разработать конструктивно-функциональную схему асфальтобетона как открытой системы (табл. 1, рис. 1); обосновать способы направленного регулирования, например, микро-, мезо- и макроструктуры асфальтобетона; разработать концептуальные физико-химические модели формирования оптимальных структур асфальтовяжущих веществ, обеспечивающих повышенную долговечность

дорожного асфальтобетона в условиях эксплуатации; оптимизировать составы и структуры систем: «битум — бутадиенметилстирольный каучук — техническая сера»; «битум — этиленглицидилакрилат — шлам нейтрализации травильных растворов, активированный полимерсодержащим отходом производства эпоксидных смол»; «холодные асфальтошлакобетонные смеси, приготовленные на анионной битумной эмульсии и активированные известью негашёной молотой» с использованием регрессионного анализа параметров многокомпонентных систем с экспериментально-статистическим описанием областей допустимых факторов.

Функционально-физический анализ дорожного асфальтобетона в виде ориентированного графа (вершины — элементы асфальтобетона и объекты окружающей среды, ребра — функции



*Беспалов
Виталий
Леонидович*

Таблица 1. Конструктивно-функциональная схема асфальтобетона

Элемент		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
1	2	3	4
E_1	Щебень	Φ_1	Выполняет в асфальтобетоне роль высокопрочного структурообразующего компонента, заполняющего наибольший объем бетона
E_2	Песок	Φ_2	Заполняет основной объем пустот щебёночного каркаса. Повышает удобоукладываемость асфальтобетонной смеси (способствует переводу трения скольжения в трение качения). Снижает напряжение в монолите при укатке смеси
E_3	Минеральный порошок	Φ_3	Структурирует нефтяной дорожный битум. Увеличивает поверхность контактирования между зёрнами песка и щебня. Уменьшает тепловое расширение битума и скольжение при торможении транспорта. Повышает адгезионные и механические свойства битума. Увеличивает плотность минеральной смеси и асфальтобетона
E_4	Нефтяной дорожный битум	Φ_4	Формирует непрерывную матрицу в асфальтобетоне. Выполняет роль вяжущего вещества. Придаёт гидрофобность бетону. Обеспечивает химическую стойкость асфальтобетона
$E_1 \cdot E_2$	Смесь щебня и песка	$\Phi_1 \cdot \Phi_2$	Обеспечивает заполнение объёма монолита. Воспринимает механические и тепловые напряжения в покрытии с последующей передачей их основанию или нижележащему конструктивному слою.
$E_3 \cdot E_4$	Смесь минерального порошка и нефтяного дорожного битума	$\Phi_3 \cdot \Phi_4$	Формирует структурированную непрерывную матрицу в асфальтобетоне. Повышает плотность, водостойчивость, морозостойкость и прочность асфальтобетона в области высоких положительных температур
$E_1 \cdot E_2 \cdot E_3 \cdot E_4$	Асфальтобетон – композиционный материал, полученный уплотнением ($K_u \geq 0,99$) при оптимальной температуре рационально подобранной смеси из щебня, песка, минерального порошка и нефтяного дорожного битума перемешанной до однородного состояния (содержание ключевого компонента Квар. < 7 %)	$\Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \Phi_3 \cdot \Phi_4$	Обеспечивает сдвигоустойчивость, трещиностойкость, усталостную долговечность, морозостойкость, водостойкость, атмосферостойкость, стабильность верхнего слоя дорожной одежды

элементов (табл. 1, рис. 1) показывает, что свойства асфальтобетона определяются, в первую очередь, качеством матрицы, представленной органическим вяжущим (ОВ) и минеральным порошком (МП).

При этом получение асфальтобетона с заданной структурой и свойствами достигается при оптимальном количественном соотношении между микро-, мезо- и макроструктурами, а именно: при проектировании долговечных асфальтобетонов необходимо создать устойчивый пространственный каркас, деформационно-релаксирующее с высокими адгезионно-когезионными свойствами асфальтовяжущее вещество, а объем остаточных пор в бетоне должен быть минимальным.

Для получения сдвигоустойчивого бетона следует проектировать II тип макроструктуры асфальтобетона

(поровая), который позволяет эффективно использовать как свойства плёнок органического вяжущего, разделяющих полидисперсные минеральные частицы, так и пространственного каркаса, образованного зёрнами щебня и способствующего повышению сдвигоустойчивости за счёт увеличения плоскостей скольжения и их шероховатости (достигаются максимальные значения модуля деформации, предела прочности, внутреннего трения и зацепления, исследования В. А. Золотарева) [5].

При качественных компонентах и оптимальной структуре бетона наиболее целесообразным способом управления структурообразованием асфальтобетона является физико-химическая модификация «объёмного» и «структурированного» органического вяжущего полимерными добавками (битума

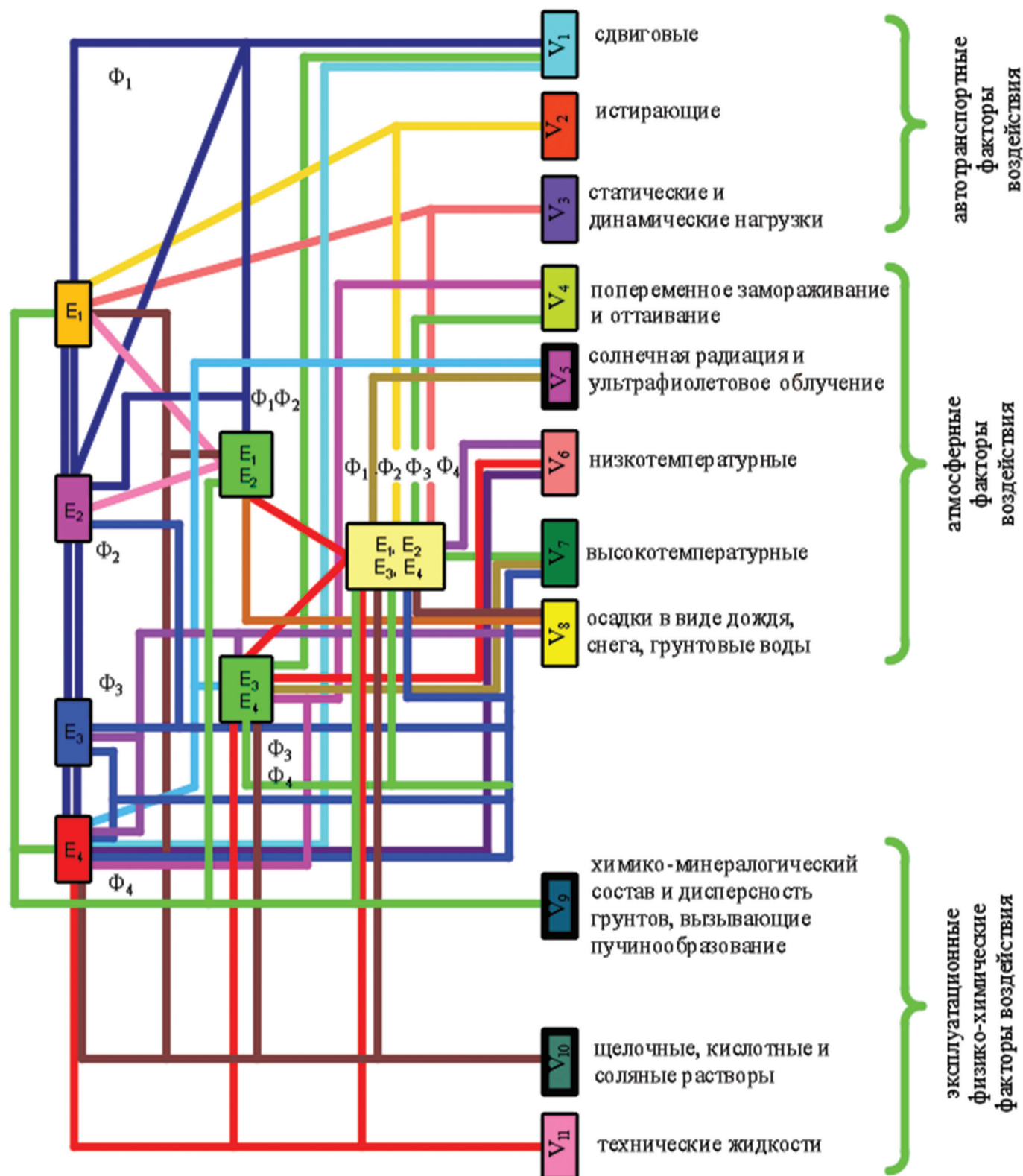


Рис. 1. Конструктивно-функциональная схема асфальтобетона: E_1 , E_2 , E_3 , E_4 – элементы асфальтобетона – щебень, песок, минеральный порошок и нефтяной дорожный битум соответственно; объекты воздействия на асфальтобетон в покрытии внешней среды; V_1 – сдвиговые, V_2 – истирающие, V_3 – статические и динамические нагрузки, V_4 – попеременное замораживание-оттаивание, V_5 – солнечная радиация и ультрафиолетовое облучение, V_6 , V_7 – низкотемпературные и высокотемпературные воздействия, соответственно, V_8 – осадки в виде дождя, снега и грунтовых вод, V_9 – химико-минералогический состав и дисперсность грунтов, вызывающие пучинообразование, V_{10} – щелочные, кислотные и соляные растворы, V_{11} – технические жидкости; Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 и Φ_4 – функции (реакции) элементов на действие окружающей среды

термоэластопластами и реакционноспособными терполимерами) и комплексными добавками (полимер + активный дисперсный наполнитель, полимер-катализатор отверждения терполимера), а также повышение энергии взаимодействия на поверхности раздела фаз (ПРФ) «органическое вяжущее – минеральный порошок», активированный олигомером, который содержит функциональные группы (карбамино-формальдегидная смола (КФ-МТ), полимер-содержащие отходы производства эпоксидных смол (ПОЭС) и др., или растворами полимеров, например, СКМС-30, Элвалой АМ и др. [6-9].

Необходимым условием эффективного влияния полимера на свойства органических вяжущих является совместимость этих компонентов, которая определяется, прежде всего, способностью полимера растворяться в вяжущем до молекулярного и надмолекулярного уровня. Только при этом условии можно получить существенное улучшение структуры и свойств органических вяжущих (например, равенство параметров растворимости полимера и дисперсионной среды органического вяжущего). Оптимальные температурно-временные режимы совмещения полимера и нефтяного битума должны обеспечить растворение полимера в битуме без деструкции последнего при достижении максимального значения битумополимерным вяжущим показателя эластичности.

Макромолекулы полимера в среде органического вяжущего должны обладать склонностью к ассоциации. Такими могут быть высокомолекулярные соединения, содержащие в своём составе функциональные группы (NH, OH, CCl и др.), например, этиленглицидилакрилат. Это позволит при минимальном содержании полимера в битуме сформировать термофлуктуационную пространственную сетку, прочность которой будет определяться прочностью связей в узлах сетки (даже при повышенных температурах) и числом узлов, а эластичность – гибкостью цепей между ними (при низких температурах). В частности, при получении битумополимерных вяжущих полимер должен образовывать в битуме такую структурную сетку, которая сохраняет прочность при температуре не ниже 60 °C, а эластичность при минимальной температуре данного дорожно-климатического района.

Структура битумополимерных вяжущих (БПВ) должна характеризоваться оптимальным сочетанием изменённой полимером дисперсионной среды органического вяжущего и структурно-механическими характеристиками дисперсий дисперсионной фазы органического вяжущего. Для этого ОВ должно иметь оптимально-структурированную среду (нефтяной дорожный битум III структурно-реологического типа).

Структурная сетка полимера должна сформироваться в ОВ после окончания уплотнения асфальтобетонной смеси или обратимо разрушаться при критических напряжениях.

Введение полимера в ОВ должно повышать или не понижать его адгезию к поверхности минеральных материалов.

БПВ при хранении в битумоварочных котлах при технологических температурах должно быть термостабильным и кинетически термоустойчивым.

При модификации маловязких ОВ вместе с полимерами необходимо вводить структурирующие добавки (техническая сера, активный наполнитель). Дисперсный наполнитель должен хорошо смачиваться битумополимерной средой. Это будет способствовать более равномерному распределению его в объёме ОВ. Для обеспечения седиментационной устойчивости наполненного БПВ плотность структурирующей добавки должна быть сопоставима с плотностью модифицируемого (битумополимерного) вяжущего. Наполнитель должен содержать полярные и даже реакционноспособные группы, способствующие упрочнению связи на ПРФ «органическое вяжущее – наполнитель». Введение оптимальной концентрации дисперсного наполнителя в БПВ приведёт к увеличению общей степени структурированности системы, так как часть раствора полимера перейдёт в двумерное состояние с повышенными механическими свойствами. По мере увеличения концентрации наполнителя или уменьшения размера его частиц сформируются коагуляционные структуры из частиц наполнителя и асфальтенов битумов через прослойки пластифицированного полимера. В битумополимерном вяжущем должна сформироваться трёхмерная сопряжённая сетка, которая обеспечит заданные технологические свойства асфальтобетонных смесей и структурно-механические характеристики комплексно-модифицированного асфальтобетона.

Решающее значение для формирования физико-механических свойств композиционных материалов имеют состояние и свойства граничных слоёв на поверхности раздела фаз.

Согласно предложенной концептуальной модели (рис. 2) поверхностная активация растворами олигомеров или полимеров поверхности минерального порошка (МП) приведёт к лучшему совмещению активированного МП с модифицированным органическим вяжущим (при правильном подборе активатора и модификатора), например, с битумополимерным, что обеспечит полное смачивание её модифицированным органическим вяжущим.

В результате межмолекулярных взаимодействий и диффузионных процессов на границе раздела фаз «активированный МП – модифицированное вяжущее» образуется структурно-упрочнённый слой,

обеспечивающий высокую адгезионную прочность на ПРФ асфальтобетона.

Модификацию битума бутадиенмethylстирольным каучуком СКМС-30 необходимо вести из раствора в углеводородных фракциях.

Можно предположить, что в этом случае при концентрации СКМС-30 2–3 % мас. в органическом вяжущем в области эксплуатационных температур сформируется термофлуктуационная пространственная полимерная сетка (исследования Л. М. Гохмана) [2]. Узлами цепей из макромолекул и надмолекулярных образований СКМС-30 являются α -метилстирольные блоки, которые объединяются между собой с понижением температуры до точки перехода полистирола в стеклообразное состояние. Прочность термофлуктуационной пространственной полимерной сетки будет определяться количеством узлов и энергией взаимодействия в них, а эластичность – кинетической гибкостью цепей между узлами сетки.

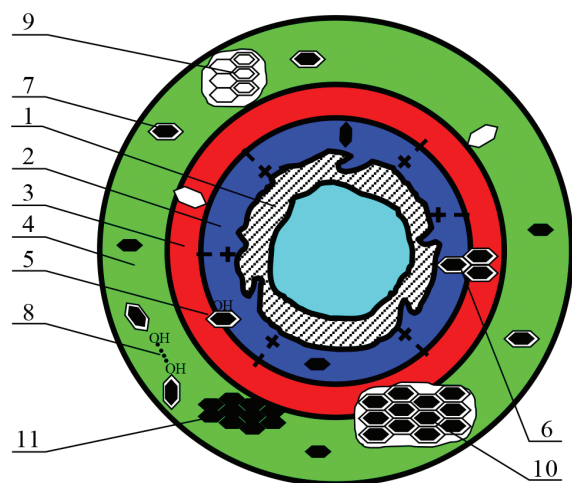
По мере увеличения концентрации элементарной серы (температура объединения битума и серы 150–155 °С) должно произойти увеличение общей структурированности системы в результате того, что незначительная часть серы должна принять участие в вулканизации бутадиенмethylстирольного каучука (образуются преимущественно моносulfидные и поперечные полиsulfидные связи).

До 10 % мас. серы вступит в химическое взаимодействие с углеводородами битума. Произойдет –S– дегидрирование и образование асфальтено-

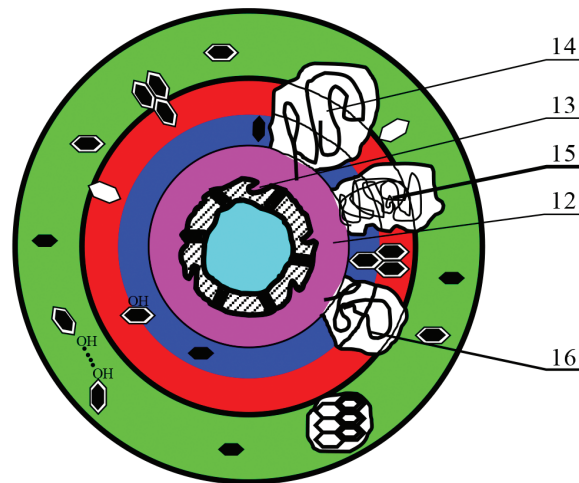
подобных веществ. Часть серы растворится (20–26 % мас.). Остальная сера должна диспергироваться в битуме до коллоидного состояния. Это приведет к усилению коагуляционного структурообразования в битумополимерсерном вяжущем за счет взаимодействия частиц серы через прослойки полимера. В битумополимерсерном вяжущем возникнет трехмерная сопряженная сетка, узлами которой являются асфальтены, химически связанная сера, кристаллы серы и коллоидно-диспергированная сера.

Активация поверхности минерального порошка СКМС-3 должна привести к формированию на поверхности порошка структурно-упрочненного слоя полимера, который повысит адгезию битумополимерсерного вяжущего к поверхности минерального порошка вследствие увеличения количества контактов сегментов надмолекулярных образований сополимера СКМС-30 с активными центрами олеофильной поверхности, аутогезии макромолекул СКМС-30 (рис. 2). Это создаст прочную и эластичную пространственную матрицу асфальтополимерсеробетона с высокой адгезией и когезией, что и определит долговечность модифицированного асфальтобетона.

Еще более высокой структурирующей способностью в нефтяном дорожном битуме должен обладать комплекс «этиленглицидилакрилат – полифосфорная кислота», так как при взаимодействии эпокси групп с полифосфорной кислотой должны образовываться как сдвоенные цепи (1), так и узлы (2) [7].



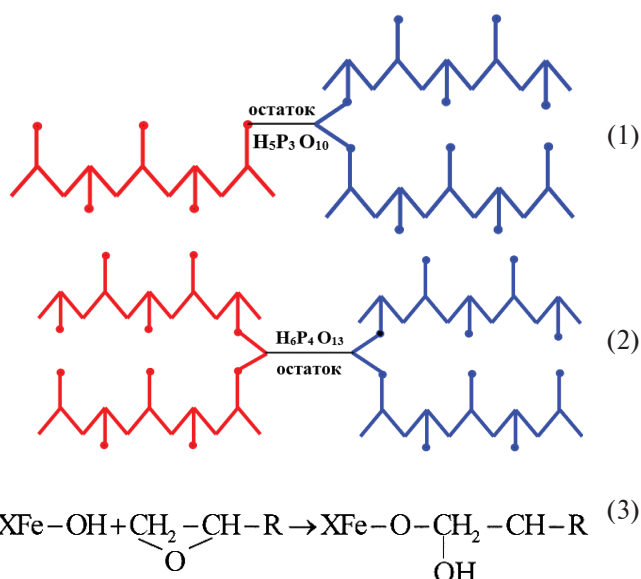
а) битум – неактивированный минеральный порошок



б) битумополимерное вяжущее – активированный олигомером (полимером) минеральный порошок

Рис. 2. Предполагаемая схема формирования межфазного контактного слоя в системе «битумополимерное вяжущее – активированный олигомером (полимером) минеральный порошок»: 1 – частица минерального порошка; 2, 3, 4 – структурированный, диффузный и объёмный слой вяжущего соответственно; 5 – полярное вещество битума; 6 – асфальтены; 7 – смолы; 8 – ассоциативный комплекс; 9 – кристалл полициклического углеводорода; 10, 11 – фрагменты коагуляционной и конденсационной структур; 12 – слой олигомера (полимера) – активатора поверхности МП; 13 – пора, заполненная олигомером; 14 – фрагмент полимерной сетки; 15, 16 – фрагменты структур с аутогезионными взаимодействиями

При механоактивации шламов нейтрализации растворов травления сталепроволочно-канатных заводов полимерсодержащими отходами производства эпоксидных смол следует ожидать формирования на поверхности раздела фаз структурно-упрочнённого контактного слоя из олигомеров и полимеров эпоксидных смол в результате дисперсионных, донорно-акцепторных, радикал-радикальных, а также хемосорбционных взаимодействий, на поверхности гидроксида железа по эпоксигруппам (3).



где X – поверхность шлама;
R – остаток ЭД-16.

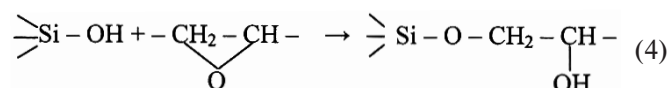
Структурно-упрочнённый слой из надмолекулярных образований ПОЭС на поверхности шлама нейтрализации будет способствовать адгезии битумополимерного вяжущего к поверхности минерального порошка через увеличение контактов сегментов надмолекулярных образований этиленглицидилакрилата с активными центрами олеофильной поверхности, аутогезии макромолекул Элвалоя АМ и ПОЭС.

Это должно привести к формированию прочной и эластичной матрицы асфальтополимербетона с высокой адгезией и когезией, которая обеспечит долговечность асфальтобетона с комплексно-модифицированной структурой.

При совместном дроблении гранита и этиленглицидилакрилата в первом произойдёт разрыв связей Si – O. Новая поверхность приобретёт участки с положительными и отрицательными зарядами. В этиленглицидилакрилате из-за неравномерного распределения внутренних напряжений или локализации энергии удара на отдельных участках цепи, возникнут критические напряжения и произойдёт разрыв ковалентных связей, например, C–H, C–O. Образуются свободные радикалы. Возможна прививка этилен-

глицидилакрилата к поверхности диспергируемых минеральных материалов.

В частности, при механоактивации раствором этиленглицидилакрилата кварцевых песков и гранитного щебня, основным компонентом которых является SiO₂ (с тетраэдрами SiO₂ обычно связаны поверхностные гидроксильные группы), эпоксидные группы «Элвалоя АМ» будут взаимодействовать с поверхностью кислых горных пород по схеме:



Таким образом, должна возникнуть прочная и эластичная матрица асфальтополимербетона с высокой адгезией к структурообразующим элементам микро-, мезо- и макроструктуры. Следовательно, асфальтополимербетонные смеси с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой должны отличаться от горячих асфальтобетонных смесей более широкими температурными интервалами уплотнения и повышенной уплотняемостью. Это связано не только с меньшей температурной чувствительностью асфальтополимербетона, но и формированием более развитых адсорбционно-сольватных слоёв модифицированного вяжущего на поверхности минеральных материалов.

Повышенная уплотняемость асфальтополимербетонных смесей с комплексно-модифицированной структурой должна привести к повышению количества замкнутых пор в единице объёма, а, следовательно, к уменьшению агрессивного воздействия воды и растворов противогололёдных веществ. Кроме того, модифицированные асфальтобетоны должны отличаться меньшей водопроницаемостью за счёт более развитых плёнок вяжущего, их более высокой когезии и адгезии к активированной поверхности минеральных материалов. Естественно предположить, что меньшее количество замкнутых открытых пор должно способствовать меньшему доступу кислорода к вяжущему, что обеспечит более высокую устойчивость комплексно-модифицированных асфальтополимербетонов к старению.

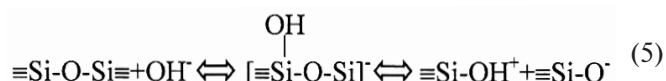
Компоненты комплексно-модифицированной структуры должны сорбировать большую часть масел и смол и тем самым замедлить интенсивность испарения и избирательной диффузии низкомолекулярных углеводородов внутрь минеральных зёрен. Кроме того, должна увеличиться энергия активации реакций поликонденсации групп веществ, составляющих битум. Все это приведёт к замедлению старения покрытий автомобильных дорог, построенных из асфальтополимербетонных смесей с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой.

Можно полагать, что асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной структурой будут более устойчивы в условиях попеременного водонасыщения-высушивания и замораживания-оттаивания, что связано не только с особенностями поровой структуры бетонов, но и со спецификой напряжённого состояния модифицированного асфальтобетона, вызываемого водонасыщением и высушиванием. Специфика напряжённого состояния модифицированного асфальтополимербетона должна состоять в том, что циклические знакопеременные напряжения, возникающие в бетоне при периодически повторяющихся водонасыщении и оттаивании, будут носить, в силу повышенной эластичности структурных связей, преимущественно упругий характер и, соответственно, вызывать, главным образом, обратимые деформации.

Бетон из асфальтополимербетонных смесей с комплексно-модифицированной структурой должен иметь повышенные деформативную и динамическую устойчивость в области низких эксплуатационных температур, прочность и сдвигоустойчивость — при положительных.

При формировании структуры холодных асфальтошлакобетонов, приготовленных на отсеке дробления мартеновского шлака, целесообразно использование прямых анионных битумных эмульсий, так как потенциалопределяющим ионом частиц мартеновского шлака является катион Ca^{2+} , к тому же поверхность шлака целесообразно модифицировать известью негашёной молотой (CaO) для ускорения распада битумной эмульсии [9].

Водный раствор $\text{Ca}(\text{OH})_2$ позволит создать в холодном асфальтошлакобетоне щелочную среду с высоким pH, что позволит интенсифицировать диспергирование шлака за счёт разрыва ковалентных связей $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ и $\text{Al}-\text{O}-\text{Si}$. Так, например, разрыв ковалентных связей кремнезёма следует ожидать по схеме:



В результате реакции (6)



при пресыщении среды затвердения сформируется в условиях эксплуатации конденсационно-кристаллизационная структура. Коагуляционная микроструктура (через прослойки плёночного битума) обеспечит релаксацию внутренних напряжений, возникающих

при транспортных нагрузках и низкотемпературных воздействиях, а конденсационно-кристаллизационная (контакты прямого срастания гидравлически активных минералов шлака) обеспечит прочность дорожного покрытия в области высоких положительных температур.

Библиографический список

1. Рыбьев, И. А. Асфальтовые бетоны [Текст] / И. А. Рыбьев. — М.: Высшая шк., 1969. — 368 с.
2. Гохман, Л. И. Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС [Текст] / Л. И. Гохман. — М.: ЗАО «Эконом-Информ», 2004. — 510 с.
3. Дорожный асфальтобетон [Текст] / Л. Б. Гезенцев, Н. В. Горелышев, А. М. Богуславский, И. В. Королёв. — М.: Транспорт, 1985. — 350 с.
4. Золотарев, В. А. Дорожные асфальтобетоны. Избранные труды, том 3 [Текст] / В. А. Золотарев. — С. Пб.: Славутич, 2015. — 184 с.
5. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов [Текст] / В. А. Золотарев. — Харьков: Вища шк., 1977. — 116 с.
6. Теоретико-экспериментальные принципы получения дорожных бетонов на органических вяжущих повышенной долговечности с комплексно-модифицированной микроструктурой [Текст] / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, Е. Э. Самойлова, Ахмед Талиб Мутташар и др. // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры: сб. науч. трудов. — Макеевка: ДонНАСА, 2012. — Вып. 1 (93). — С. 25–40.
7. Асфальтополимербетонные смеси, модифицированные этиленглицидиакрилатом [Текст] / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, А. А. Стукалов и др. // Международный научно-технический журнал «Наука и техника в дорожной отрасли». — М.: «Дороги», 2015 (71), № 1. — С. 33–36.
8. О технологических и физико-механических свойствах асфальтобетона с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой [Текст] / В. Л. Беспалов, В. И. Братчун, Ахмед Талиб Мутташар Мутташар, М. К. Пактер и др. // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры: сб. науч. трудов. — Макеевка: ДонНАСА, 2014. — Вып. 1 (105). — С. 24–32.
9. Асфальтошлакобетоны на анионных битумных эмульсиях [Текст] / В. И. Братчун, Ю. В. Грицук, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер и др. // «Наука и техника в дорожной отрасли»: Международный научно-технический журнал. — Российская Федерация: Москва, ЗАО «Издательство «Дороги», 2014 (70), № 4. — С. 22–25.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ КАРБОНИЗАЦИИ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТИ

Н.В. ЛЮБОМИРСКИЙ, доктор техн. наук, профессор,

С.И. ФЕДОРКИН, доктор техн. наук, профессор,

А.Н. РЫЖАКОВ, канд. физ.-мат. наук, доцент,

А.С. БАХТИН, канд. техн. наук, доцент

Академия строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь



*Любомирский
Николай
Владимирович*



*Федоркин
Сергей
Иванович*



*Рыжаков
Андрей
Николаевич*

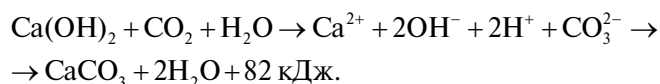


*Бахтин
Александр
Сергеевич*

Предложена математическая модель динамического процесса принудительного карбонатного твердения извести, которая представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих изменение во времени концентраций исходных и образующихся веществ с учётом влияния влажности и температуры, процессов диффузии и конвективного переноса молекул реагентов, сопровождающих процесс карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Показано, что с помощью компьютерного моделирования можно комплексно изучать процессы, исследование которых экспериментальными методами затруднительно и требует сложного оборудования.

Ключевые слова: известь, гидроксид кальция, углекислый газ, карбонизация, карбонат кальция, математическая модель, компьютерная модель.

Введение. Протекание химической реакции карбонизации извести зависит от множества технологических факторов (водосодержания известкового теста, температуры карбонизации, концентрации и давления углекислого газа, дисперсности частиц извести, времени карбонизации [1-3]) и описывается в общем виде уравнением (1):



Наиболее важными факторами, с точки зрения оптимизации технологического процесса принудительной (искусственной) карбонизации известковых систем при получении на их основе строительных материалов и изделий, является содержание воды, которая присутствует как среди исходных реагентов, так и образуется в результате химической реакции

карбонизации, а также повышение температуры твердеющих изделий за счёт экзотермии процесса. Определение количественных изменений данных факторов в процессе карбонатного твердения опытным путём довольно проблематично или связано со значительным объёмом проведения экспериментальных исследований. Существенно сэкономить в процессе исследования искусственной карбонизации известковых систем материальные ресурсы и время можно, используя методы математического и компьютерного моделирования.

Анализ публикаций показал, что на сегодняшний день не существует математической теории процессов искусственной карбонизации известковых вяжущих. Большинство теорий, рассматривающих процесс карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, связано с коррозионными процессами бетона. Эта область изучена достаточно полно: построены математические и физико-математические модели, системы определяющих уравнений процессов карбонатной коррозии бетона [4-6]. Однако существующие модели рассматривают процессы естественной карбонизации известковой составляющей бетона при малых концентрациях CO_2 , соответствующих содержанию его в атмосферном воздухе ($\sim 0,04\%$).

В связи с этим **целью настоящей работы** является разработка математической и на её основе компьютерной модели принудительного карбонатного твердения извести в среде CO_2 , которые позволят исследовать поведение базовых параметров процесса принудительного карбонатного твердения систем на основе извести (концентрации веществ реагентов и образованных в результате химической реакции веществ, водосодержания и температуры) в произвольный момент времени в заданной точке системы.

Результаты и их анализ

Физически, исходный известковый образец представлял собой полученный полусухим пресс-

сованием в специальной форме цилиндр, основу которого составляет пористая матрица из молекул $\text{Ca}(\text{OH})_2$, внутри которой находились молекулы воды (рис. 1, а). Для проведения реакции карбонизации образец помещался в среду углекислого газа. Условия карбонизации: концентрация углекислого газа в окружающей среде составляла $\sim 100\%$, температура в камере карбонизации перед подачей углекислого газа – $(293 \pm 2) \text{ K}$, давление CO_2 – атмосферное.

Для упрощения математической модели в качестве базовой химической реакции процесса карбонизации рассматривается уравнение (1). При моделировании скорости промежуточных процессов (растворение в воде $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CO_2 , образование $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) учитываются величинами коэффициентов в уравнениях химической кинетики [7, 8], составленных для концентраций реагентов из уравнения (1). Схематически базовые (I) и промежуточные (II) реакции показаны на рисунке 1, в.

В качестве базовых процессов карбонизации известкового теста, рассматривались следующие:

- растворение исходной твёрдой фазы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в воде, насыщающей пористую матрицу;
- диффузия CO_2 внутрь пористой матрицы и конвективно-диффузионный перенос CO_2 к зёрнам $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в водной среде, насыщающей пористую матрицу;
- адсорбция молекул CO_2 на поверхности зёрен пористой матрицы $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
- изменение объёмных концентраций $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaCO_3 в зёрнах пористой матрицы в процессе химической экзотермической реакции карбонизации молекул CO_2 , адсорбированных на зёрнах $\text{Ca}(\text{OH})_2$, в присутствии молекул H_2O с образованием CaCO_3 и H_2O ;
- испарение H_2O внутрь газовых карманов пористой матрицы и в объём рабочей камеры с поверхности образца;

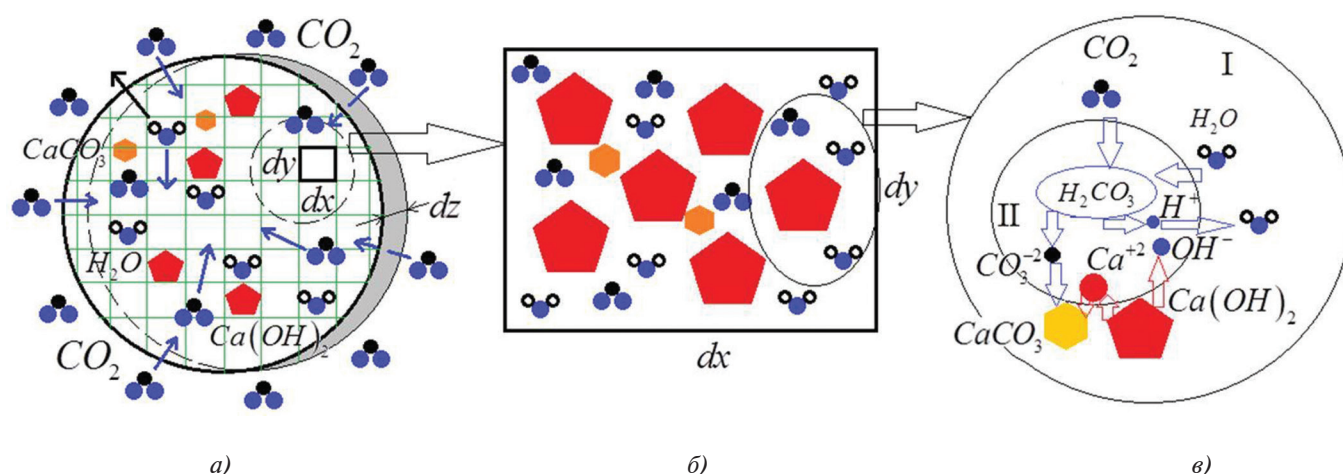


Рис. 1. Сечение образца (а), его элементарные структурные элементы (б), базовые и промежуточные процессы (в)

– диффузионный перенос H_2O к поверхности образца.

Процесс растворения гидроксида кальция протекает одновременно с его диффузионным переносом. Растворимость гидроксида кальция зависит от температуры, диоксида углерода – от температуры и давления.

Основываясь на известных уравнениях механики сплошных сред (движения жидкости в пористых средах, диффузии, адсорбции) [9, 10] и кинетики химических процессов, была разработана математическая модель процесса карбонизации.

В качестве моделируемой системы рассматривалось сечение цилиндрического образца плоскостью перпендикулярной его оси (см. рис. 1, а). Пренебрегая процессами тепло- и газообмена с окружающей средой через основания цилиндра, использовали двумерную модель сечения для исследования динамического процесса карбонизации во всём объёме цилиндрического образца. Вследствие симметрии задачи в каждом таком сечении процессы теплопереноса, массообмена и химические реакции должны реализовываться идентично.

В качестве элементарных структурных элементов системы (см. рис. 1, б) рассматривались объёмы $dV = dx \cdot dy \cdot dz$ малой высоты dz .

Считали, что объём dV содержит настолько большое количество молекул, участвующих в процессе, что к этому объёму применимо понятие удельной концентрации вещества $c_i = m_i/dV_i$, где m_i – суммарная масса молекул (ионов) реагента в пределах i -го элементарного объёма. В то же время, размеры dV принимали настолько малыми, чтобы удельные концентрации веществ можно было считать постоянными в пределах элементарного структурного элемента для данного момента времени. Тогда удельные концентрации веществ c_i можно представить функциями времени и координат центра основания элементарного структурного элемента:

$$c_i = c_i(x, y, t) \quad (2)$$

Согласно уравнению базовой химической реакции карбонизации (1) рассматривались изменение концентрации четырёх веществ:

1. $Ca(OH)_2$ – концентрация

$$c_{Ca(OH)_2}(x, y, t); [c_{Ca(OH)_2}] = [\text{моль} / \text{м}^3],$$

2. CO_2 – концентрация

$$c_{CO_2}(x, y, t); [c_{CO_2}] = [\text{моль} / \text{м}^3],$$

3. H_2O – концентрация

$$c_{H_2O}(x, y, t); [c_{H_2O}] = [\text{моль} / \text{м}^3],$$

4. $CaCO_3$ – концентрация

$$c_{CaCO_3}(x, y, t); [c_{CaCO_3}] = [\text{моль} / \text{м}^3].$$

Изменение концентраций $c_{CO_2}(x, y, t)$ и $c_{H_2O}(x, y, t)$, связанное с процессами диффузии CO_2 и H_2O к зёрнам $Ca(OH)_2$, адсорбции молекул CO_2 и H_2O на зёрнах $Ca(OH)_2$ и протеканием химической реакции (1), описывается уравнениями транспорта (Reacting Flowing Porous Media (rfd) – Comsol) вещества в пористой среде (3):

$$\begin{cases} \frac{\partial(\theta c_{CO_2})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_b \cdot c_{pCO_2})}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_v \cdot c_{GCO_2})}{\partial t} = \nabla [D_{CO_2} \nabla c_{CO_2}] + R_{CO_2}, \\ \frac{\partial(\theta c_{H_2O})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_b \cdot c_{pH_2O})}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_v \cdot c_{GH_2O})}{\partial t} = \nabla [D_{H_2O} \nabla c_{H_2O}] + R_{H_2O} \end{cases}$$

где c_p ; $[c_p] = [\text{моль} / \text{кг}]$ – концентрация адсорбированного на зёрнах $Ca(OH)_2$ газа CO_2 и молекул H_2O ;

$\rho_b = (1 - \varepsilon) \rho_p$ $[\text{кг} / \text{м}^3]$ – насыпная плотность $Ca(OH)_2$;

ρ_p $[\text{кг} / \text{м}^3]$ – плотность $Ca(OH)_2$;

$\varepsilon(x, y, t) = \theta_{H_2O}(x, y, t) + \alpha_v(x, y, t) [n.s.]$ – пористость $Ca(OH)_2$;

θ_{H_2O} – доля жидкой фазы;

α_v – доля газовой фазы в порах $Ca(OH)_2$;

$D_c(T)$; $[D_c] = [\text{м}^2 / \text{с}]$ – коэффициенты диффузий CO_2 и H_2O в пористой матрице, которые зависят от температурного режима рассматриваемой области образца;

R ; $[R] = [\text{моль} / \text{м}^3 \cdot \text{с}]$ – скорость изменения концентрации CO_2 и H_2O вследствие химической реакции (1);

c_{CO_2} и c_{GH_2O} – параметры, характеризующие концентрацию нерастворённой газовой фазы CO_2 и водяного пара.

По экспериментальным данным (табл. 1), изменение пористости в результате карбонатного твердения не превышает 10 %, в связи с чем, в целях упрощения математической модели, полагаем величину пористости постоянной, $\varepsilon = \text{const}$. В то же время, выделение тепла в реакции (1) приводит к различным тепловым режимам в разных частях образца и изменению теплового режима во времени. Тепловой режим влияет на интенсивность испарения H_2O с поверхности и в объём газовой карманов в пористой матрице $Ca(OH)_2$. Поэтому, при постоянной пористости, полагаем доли жидкой и газовой α_v фаз в пористой матрице функциями координат и времени.

Модель Reacting Flowing Porous Media, кроме уравнений (7), описывающих транспорт реагентов и химические реакции, включает, обычные для гидродинамики, уравнения неразрывности (для несжимаемой жидкости) и уравнения Эйлера в общепринятой форме.

Таблица 1. Изменение общей пористости известковых образцов полусухого прессования при их принудительной карбонизации

Условия получения образцов		Общая пористость образцов, %		Изменение общей пористости образцов после карбонизации, %
давление прессования, МПа	водосодержание извести, % мас.	после формования	после карбонизации	
5	5	60,0	57,3	-4,5
	10	60,4	57,8	-4,3
	15	60,9	57,0	-6,4
	20	61,4	56,6	-7,8
	25	61,6	57,3	-7,0
10	5	56,0	52,8	-5,7
	10	56,3	53,0	-5,9
	15	56,8	53,3	-6,2
	20	57,0	52,3	-8,2
	25	57,3	51,7	-9,8
15	5	53,0	49,7	-6,2
	10	53,3	50,1	-6,0
	15	53,7	50,3	-6,3
	20	54,1	49,9	-7,8
	25	54,1	50,0	-7,6
20	5	50,1	46,0	-8,2
	10	50,6	46,3	-8,5
	15	51,1	46,5	-9,0
	20	51,4	49,8	-3,1
	25	51,0	49,7	-2,5

При описании процесса адсорбции CO_2 на зёрнах $\text{Ca}(\text{OH})_2$ использовали модифицированный закон Ленгмюра [11, 12], полагая, что количество адсорбированного на зёрнах пористой матрицы газа CO_2 зависит от его концентрации в жидкой фазе и концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

$$c_{\text{PCO}_2} = \frac{K_{\text{LCO}_2} \cdot c_{\text{PCO}_2 \text{ _max}}}{1 + K_{\text{LCO}_2} \cdot c_{\text{CO}_2}} \cdot c_{\text{CO}_2}, \quad (4)$$

$$c_{\text{PH}_2\text{O}} = \frac{K_{\text{LH}_2\text{O}} \cdot c_{\text{PH}_2\text{O} \text{ _max}}}{1 + K_{\text{LH}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (5)$$

где K_L ; $[K_L] = [\text{м}^3 / \text{моль}]$ – коэффициент адсорбции; $c_{\text{p_max}}$; $[c_{\text{p_max}}] = [\text{моль} / \text{кг}]$ – максимально возможное количество адсорбированного вещества, является функцией от концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $c_{\text{PCO}_2 \text{ _max}} = f(c_{\text{Ca}(\text{OH})_2})$

Предложенная функциональная зависимость объясняется тем, что основная доля растворенного CO_2 реагирует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в присутствии H_2O после адсорбции на поверхности зёрен. При этом продукты реакции – CaCO_3 кристаллизуются на их

поверхности. С течением времени доля вещества $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в зёрнах матрицы уменьшается и процесс карбонизации будет замедляться.

Подставляя (4) в (3) и проводя операции дифференцирования, получили уравнение для моделирования изменения концентрации CO_2 (6):

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \theta}{\partial t} c_{\text{CO}_2} (1 - k_{\text{GCO}_2}) + \frac{\partial c_{\text{CO}_2}}{\partial t} (\theta + \rho_b \cdot k_{\text{PCO}_2} + \alpha_v \cdot k_{\text{GCO}_2}) - \\ & - \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} (\rho_p \cdot c_{\text{PCO}_2} - k_{\text{GCO}_2} \cdot c_{\text{CO}_2}) + \rho_b \cdot k_{\text{IPCO}_2} \frac{\partial c_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}{\partial t} = \\ & = \nabla [D_{\text{CO}_2} \cdot \nabla c_{\text{CO}_2}] + R_{\text{CO}_2}. \end{aligned}$$

В (6) обозначено (7):

$$\begin{aligned} k_{\text{PCO}_2} &= \frac{\partial c_{\text{PCO}_2}}{\partial c_{\text{CO}_2}} = \frac{\partial}{\partial c_{\text{CO}_2}} \left[\frac{K_{\text{LCO}_2} \cdot c_{\text{PCO}_2 \text{ _max}}}{1 + K_{\text{LCO}_2} \cdot c_{\text{CO}_2}} c_{\text{CO}_2} \right] = \frac{K_{\text{LCO}_2} \cdot c_{\text{PCO}_2 \text{ _max}}}{(1 + K_{\text{LCO}_2} \cdot c_{\text{CO}_2})^2}, \\ k_{\text{IPCO}_2} &= \frac{\partial c_{\text{PCO}_2}}{\partial c_{\text{Ca}(\text{OH})_2}} = \frac{\partial}{\partial c_{\text{Ca}(\text{OH})_2}} \left[\frac{K_{\text{LCO}_2} \cdot c_{\text{PCO}_2 \text{ _max}}}{1 + K_{\text{LCO}_2} \cdot c_{\text{CO}_2}} c_{\text{CO}_2} \right] = \\ &= \frac{K_{\text{LCO}_2} \cdot c_{\text{PCO}_2 \text{ _max}}}{1 + K_{\text{LCO}_2} \cdot c_{\text{CO}_2}} \cdot \frac{\partial c_{\text{PCO}_2 \text{ _max}}}{\partial c_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}, \end{aligned}$$

где k_{PCO_2} – изотерма адсорбции CO_2 ;

k_{GCO_2} – линейный коэффициент испарения CO_2 .

Аналогично, подставляя (5) в (3), получили уравнение для изменения концентрации H_2O (8), (9):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial t} c_{H_2O} (1 - k_{G_{H_2O}}) + \frac{\partial c_{H_2O}}{\partial t} (\theta + \rho_b \cdot k_{p_{H_2O}} + \alpha_v \cdot k_{G_{H_2O}}) - \\ - \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} (\rho_p \cdot c_{p_{H_2O}} - k_{G_{H_2O}} \cdot c_{H_2O}) + \rho_b \cdot k_{1p_{H_2O}} \frac{\partial c_{Ca(OH)_2}}{\partial t} = \\ = \nabla [D_{H_2O} \cdot \nabla c_{H_2O}] + R_{H_2O}. \end{aligned}$$

$$k_{p_{H_2O}} = \frac{\partial c_{p_{H_2O}}}{\partial c_{H_2O}} = \frac{\partial}{\partial c_{H_2O}} \left[\frac{K_{L_{H_2O}} \cdot c_{p_{H_2O_max}}}{1 + K_{L_{H_2O}} \cdot c_{H_2O}} c_{H_2O} \right] = \frac{K_{L_{H_2O}} \cdot c_{p_{H_2O_max}}}{(1 + K_{L_{H_2O}} \cdot c_{H_2O})^2},$$

$$k_{1p_{H_2O}} = \frac{\partial c_{p_{H_2O}}}{\partial c_{Ca(OH)_2}} = \frac{\partial}{\partial c_{Ca(OH)_2}} \left[\frac{K_{L_{H_2O}} \cdot c_{p_{H_2O_max}}}{1 + K_{L_{H_2O}} \cdot c_{H_2O}} c_{H_2O} \right] =$$

$$= \frac{K_{L_{H_2O}} \cdot c_{p_{H_2O_max}}}{1 + K_{L_{H_2O}} \cdot c_{H_2O}} \cdot \frac{\partial c_{p_{H_2O_max}}}{\partial c_{Ca(OH)_2}},$$

где $k_{p_{CO_2}}$ — изотерма адсорбции H_2O ;
 $k_{G_{CO_2}}$ — линейный коэффициент испарения H_2O .

Для определения производных $\frac{\partial c_{Ca(OH)_2}}{\partial c_{p_max}}$ в выражениях (7) и (9) оценивали максимальные концентрации адсорбированных на поверхности элементов пористой матрицы $Ca(OH)_2$ молекул воды и углекислого газа. Частицы $Ca(OH)_2$ в первом приближении, рассматривали как сферы диаметра d . Максимальная концентрация адсорбированных молекул c_{p_max} пропорциональна площади поверхности частицы $Ca(OH)_2$: $S_{Ca(OH)_2} = \pi \cdot d^2$. С другой стороны, концентрация $Ca(OH)_2$ в образце пропорциональна кубу диаметра частиц:

$$\begin{aligned} c_{Ca(OH)_2} = \frac{V_{Ca(OH)_2}}{V_{обр.}} = \frac{m_{Ca(OH)_2}}{\mu_{Ca(OH)_2} \cdot V_{обр.}} = \\ = \frac{n_{Ca(OH)_2} \cdot (4/3) \cdot \pi \cdot [d/2]^3 \cdot \rho_{p_Ca(OH)_2}}{\mu_{Ca(OH)_2} \cdot V_{обр.}} \cdot d^3. \end{aligned} \quad (10)$$

Тогда искомая оценка:

$$d \cdot (c_{Ca(OH)_2})^{1/3} \Rightarrow c_{p_max} = \alpha \cdot c_{Ca(OH)_2}^{2/3} \quad (11)$$

В выражении (11) коэффициент пропорциональности α , который определяется в соответствии с данными эксперимента.

Скорость изменения концентрации CO_2 — R_{CO_2} , H_2O — R_{H_2O} и $Ca(OH)_2$ — $R_{Ca(OH)_2}$ в результате химической реакции (1) задаются кинетическими уравнениями [7]:

$$\begin{aligned} R_{CO_2} &= -k_{CO_2} \cdot c_{Ca(OH)_2} \cdot (\rho_b \cdot c_{p_{CO_2}}) \cdot (\rho_b \cdot c_{p_{H_2O}}), \\ R_{H_2O} &= k_{H_2O} \cdot c_{Ca(OH)_2} \cdot (\rho_b \cdot c_{p_{CO_2}}) \cdot (\rho_b \cdot c_{p_{H_2O}}), \\ R_{Ca(OH)_2} &= -k_{Ca(OH)_2} \cdot c_{Ca(OH)_2} \cdot (\rho_b \cdot c_{p_{CO_2}}) \cdot (\rho_b \cdot c_{p_{H_2O}}). \end{aligned} \quad (12)$$

Выражения k_{CO_2} , k_{H_2O} , $k_{Ca(OH)_2}$ для соответствующих реагентов (1) задают экспоненциальную зависимость скорости протекания реакции от температуры в соответствии с законом Аррениуса:

$$k = A e^{-\frac{E}{R \cdot T}}, \quad (13)$$

где E [Дж] — энергия активации;

R [Дж/(моль·К)] — универсальная газовая постоянная;

T [К] — температура.

Концентрация продукта реакции $CaCO_3$ определяется выражением:

$$c_{CaCO_3}(x, y, t) = c_{Ca(OH)_2}(x, y, 0) - c_{Ca(OH)_2}(x, y, t) \quad (14)$$

Химическая реакция (1) протекает с выделением тепла, что приводит к разогреву образца и испарению воды как внутрь газовых «карманов» пористой матрицы, так и с внешней поверхности образца. Неравномерный разогрев образца также стимулирует диффузию молекул воды к его поверхности. Учёт потоков тепла в образце моделировался в приложении Heat Transferring Porous Media (Comsol):

$$(\rho \cdot C_p)_{cq} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(k_{cq} \nabla T) + Q_{Ca(OH)_2} - Q_{H_2O}, \quad (15)$$

где $(\rho \cdot C_p)_{cq}$ [Дж/кг·К] = $(1 - \varepsilon) \cdot \rho_p \cdot C_{pp} + \theta \cdot \rho_L \cdot C_{pL} + \alpha_v \cdot \rho_v \cdot C_{pv}$ — удельная теплоёмкость при постоянном давлении;

$\rho_p \cdot C_{pp}$ — эквивалентная объёмная теплоёмкость твёрдой фазы;

$\rho_L \cdot C_{pL}$ — эквивалентная объёмная теплоёмкость жидкой фазы;

$\rho_v \cdot C_{pv}$ — эквивалентная объёмная теплоёмкость газовой фазы;

T — абсолютная температура;

k_{cq} [Вт/(м·К)] = $(1 - \varepsilon) \cdot k_p + \theta \cdot k_L + \alpha_v \cdot k_v$ — эквивалентный коэффициент теплопроводности;

$k_{p,L,v}$ — теплопроводность твёрдого тела, жидкости и газовой фазы соответственно;

$Q_{Ca(OH)_2}$ [Вт/м³] = $-\frac{\partial c_{Ca(OH)_2}}{\partial t} \cdot q$ — удельная тепловая мощность химической реакции карбонизации;

q [Дж/моль] — удельный тепловой коэффициент химической реакции;

Q_{H_2O} [Вт/м³] — «сток» тепла, связанный с испарением воды.

Испарение H_2O с поверхности и диффузия CO_2 из внешней среды внутрь образца моделировались путём задания потоков масс соответствующих веществ W_{H_2O} и W_{CO_2} [Вт/(м²·с)] через границу образца.

Связанные с процессами испарения и теплообмена с окружающей средой потери тепла определялись по формуле:

$$Q_{H_2O} = \mu_{H_2O} \cdot \lambda_T \cdot N - h \cdot (T_{ext} - T), \quad (16)$$

где μ_{H_2O} — молярная масса воды;

$\lambda_T = a\sqrt{T_{\max} - T}$ — удельная теплота парообразования воды в зависимости от температуры T ;
 \dot{N} кг/(м²·с) — поток испаряемого вещества;
 h [Вт/(м²·К)] — коэффициент теплопроводности газовой среды камеры, отнесённый к расстоянию передачи теплового потока;
 T_{ext} — внешняя температура.

Величина коэффициента $a = 138$ [кДж/(кг·К^{1/2})] определялась путём интерполяции экспериментальных данных по парообразованию воды [13].

Таким образом, математическая модель принудительной карбонизации известковых образцов представляет собой комплекс взаимосвязанных нелинейных дифференциальных уравнений, которые описывают поведение базовых параметров процесса принудительного карбонатного твердения систем на основе извести (концентрации веществ реагентов, образованных в результате химической реакции исходных веществ, изменение водосодержания и температуры образца) в произвольный момент времени в заданной точке образца.

Численное решение системы нелинейных дифференциальных уравнений организовано в виде отдельной программы в пакете мультифизического моделирования **COMSOL Multiphysics** (Femlab). С помощью графического интерфейса данного программного комплекса были получены визуальные решения процессов принудительной карбонизации известковых образцов полусухого прессования (начальное водосодержание извести составляло 10 % мас., удельное давление прессования образцов — 10 МПа). Визуализация производилась в виде раскрашенной поверхности поперечного сечения известкового образца-цилиндра диаметром 30 мм (рис. 2–4).

Полученные диаграммы изменения состояния известковой системы, представленные на рисунках 2–4, достаточно точно согласовываются с опытными данными, которые получали при карбонизации известковых образцов при сходных условиях. Так, например, сравнивая модельную визуализацию

процесса превращения $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в CaCO_3 (см. рис. 2) с опытным определением толщины карбонизированного слоя (рис. 5), можно отметить идентичность модели и реального образца. Процесс превращения $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в CaCO_3 начинается на поверхности образцов и постепенно с течением времени продвигается вглубь образца по мере диффузии CO_2 . Т. е. процессом, лимитирующим процесс карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, является диффузия CO_2 .

Построенная компьютерная модель позволяет комплексно исследовать процесс карбонизации известкового камня, изучая одновременно, как структурные преобразования, так и количественные изменения водосодержания и температуру в системе, что в натурном эксперименте проследить достаточно сложно.

На рисунке 3 видно, что водосодержание известкового образца, полученного при данных условиях, после карбонизации в течение 3600 с увеличивается, а с увеличением времени выдерживания в среде CO_2 начинает снижаться. Сравнивая экспериментальные данные изменения влажности известковых образцов при их принудительной карбонизации с моделью (табл. 2), можно констатировать, что расчётные данные, полученные в ходе математического и компьютерного моделирования, адекватно отражают изменение данного параметра. Кроме того, компьютерная модель позволяет исследовать количественное содержание воды в различных слоях опытного образца.

Динамика изменения температуры согласно компьютерной модели (см. рис. 4) показывает, что известковый образец в процессе карбонизации разогревается до 374 К. Поскольку модель не учитывает принудительное охлаждение образца, температура поверхности образца выше, чем внутренних его слоёв. Экспериментально проверить эти данные довольно сложно, однако, учитывая подъем температуры в камере карбонизации при выдерживании образцов в среде CO_2 до 338 К, можно утверждать, что расчётные данные, полученные в компьютерной модели, близки к абсолютным температурным значениям в опытном образце.

Таблица 2. Изменение водосодержания известковых образцов в зависимости от времени их принудительной карбонизации

Время карбонизации, с	Данные водосодержания в образце	
	расчётные	экспериментальные
0	10,0	10,0
3600	10,8	11,0
4500	9,7	9,8
5300	9,6	9,7

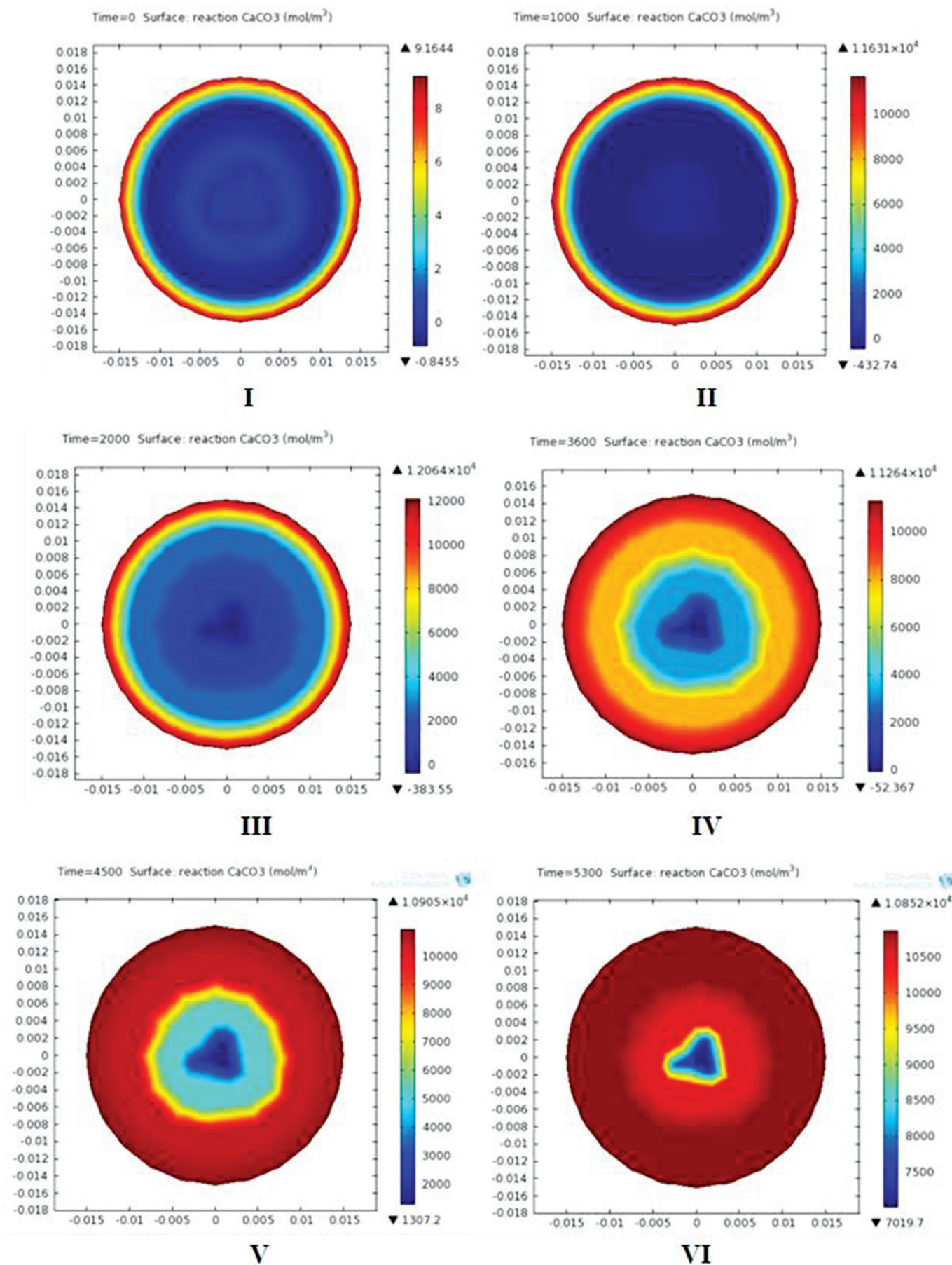


Рис. 2. Изменение содержания CaCO_3 в зависимости от времени карбонизации, с: I – 0; II – 1000; III – 2000; IV – 3600; V – 4500; VI – 5300

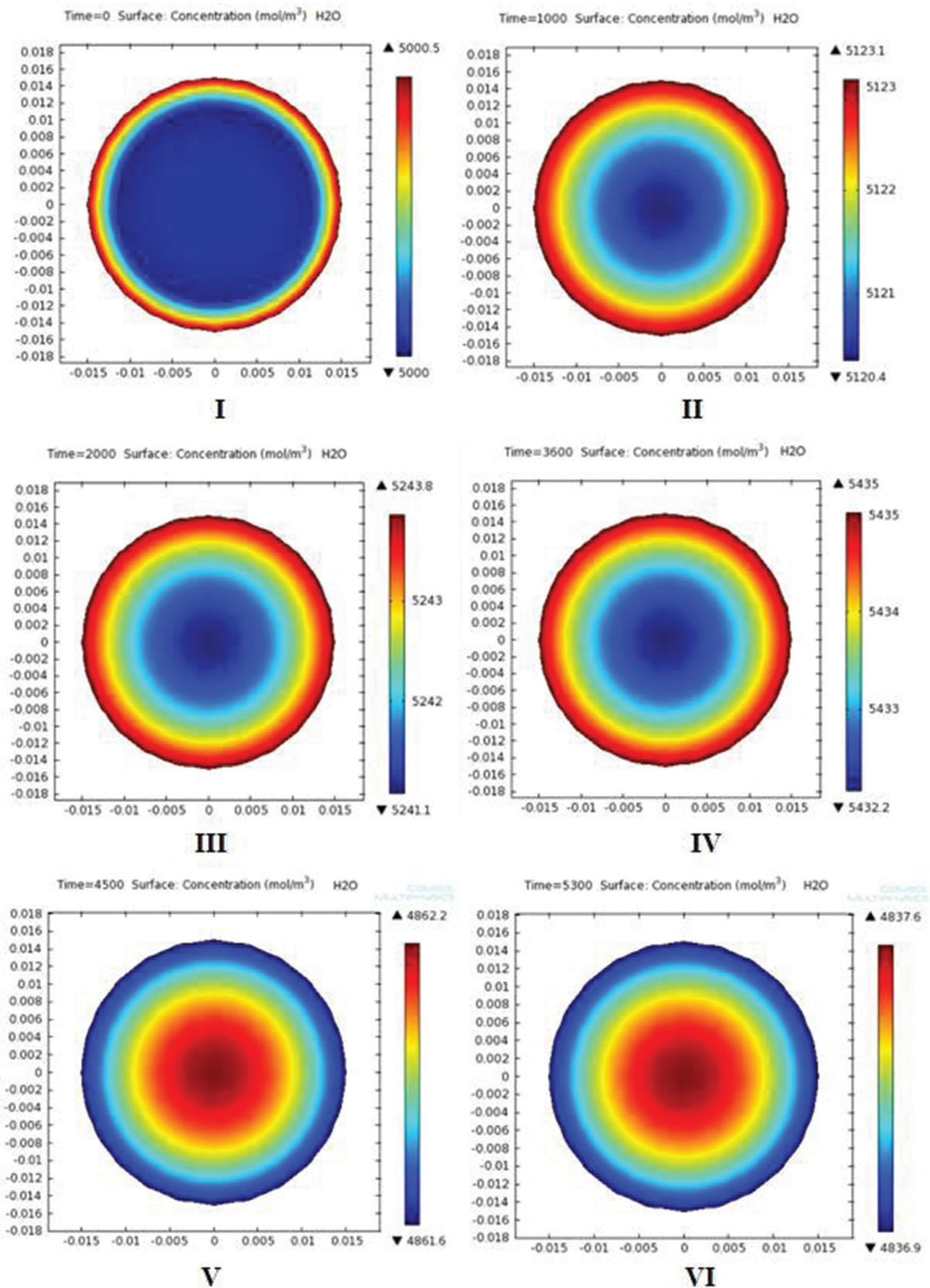


Рис. 3. Изменение водосодержания в системе в зависимости от времени карбонизации, с: I – 0; II – 1000; III – 2000; IV – 3600; V – 4500; VI – 5300

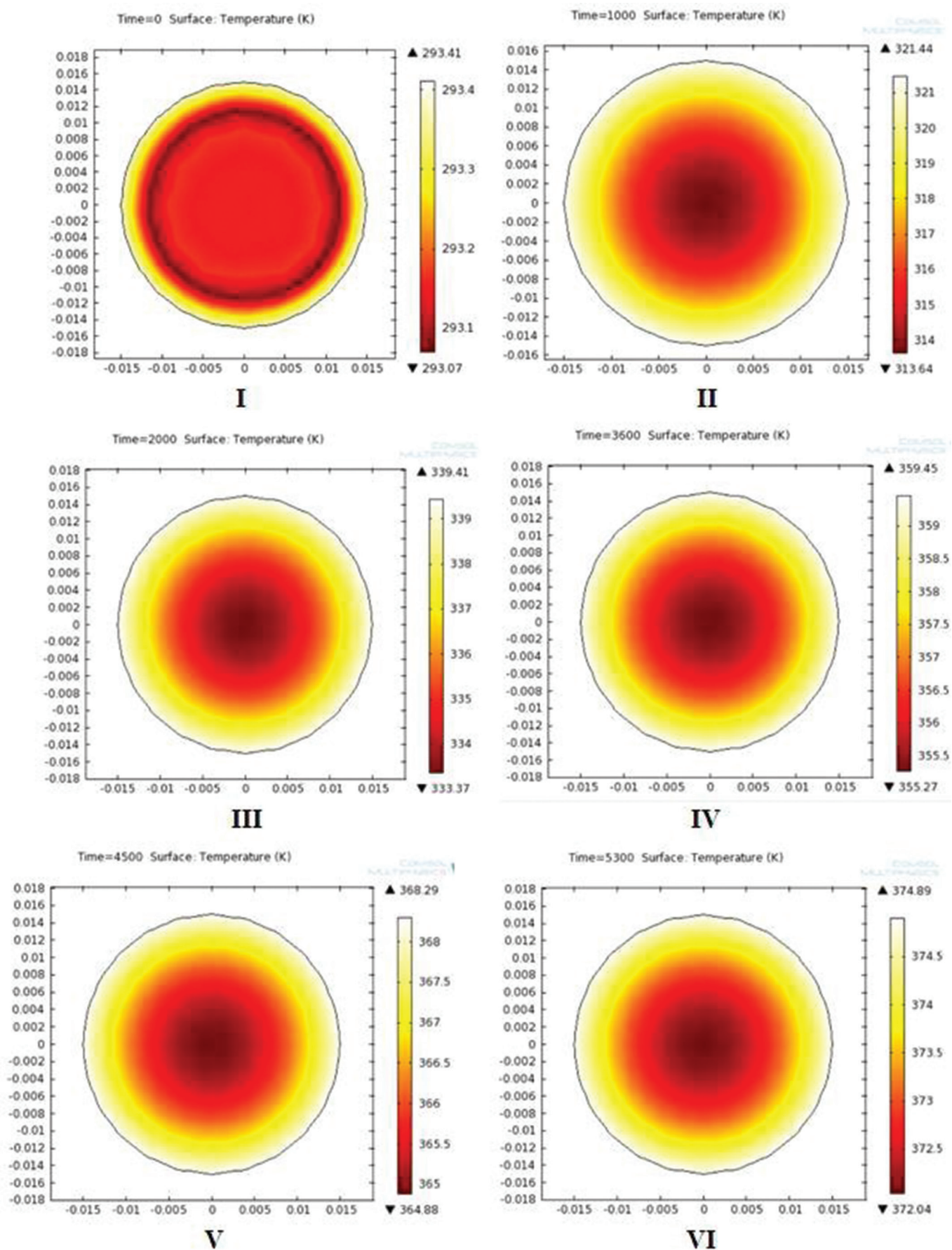


Рис. 4. Изменение поля температур в поперечном сечении образца во время карбонизации, с: I – 0; II – 1000; III – 2000; IV – 3600; V – 4500; VI – 5300



Рис. 5. Толщина карбонизированного слоя известковых образцов в зависимости от времени карбонизации, с:
а – 3600; б – 4500; в – 5300

а

б

в

Компьютерная модель позволяет проследить распределение градиента температур, объясняющего принцип распределения температурных полей в опытном образце. На рисунке 6 показана диаграмма распределения температурных полей в известковом образце в момент времени 1000 с принудительной карбонизации.

Из диаграммы видно, что температура повышается по мере продвижения фронта реакции карбонизации извести, который постепенно продвигается с поверхности вглубь образца. Сам температурный градиент направлен в сторону поверхности образца, т. к. температура окружающей среды образца ниже. Таким образом, перенос тепла, выделяемого во внутренних

слоях образца, направлен на периферию поверхности образца, что дополнительно нагревает его поверхностные слои. Кроме тепла, наружу переносятся и пары воды, вызывающие повышение концентрации H_2O на поверхности образца.

Полученные результаты позволяют сделать заключение, что для ускорения протекания реакции карбонизации извести необходимо обеспечивать активное принудительное охлаждение образцов. Это позволит избежать возможных температурных деформаций, а также будет способствовать ускорению процесса превращения извести в карбонат кальция, создавая более благоприятные условия для растворения в воде $Ca(OH)_2$ и CO_2 – неперенные

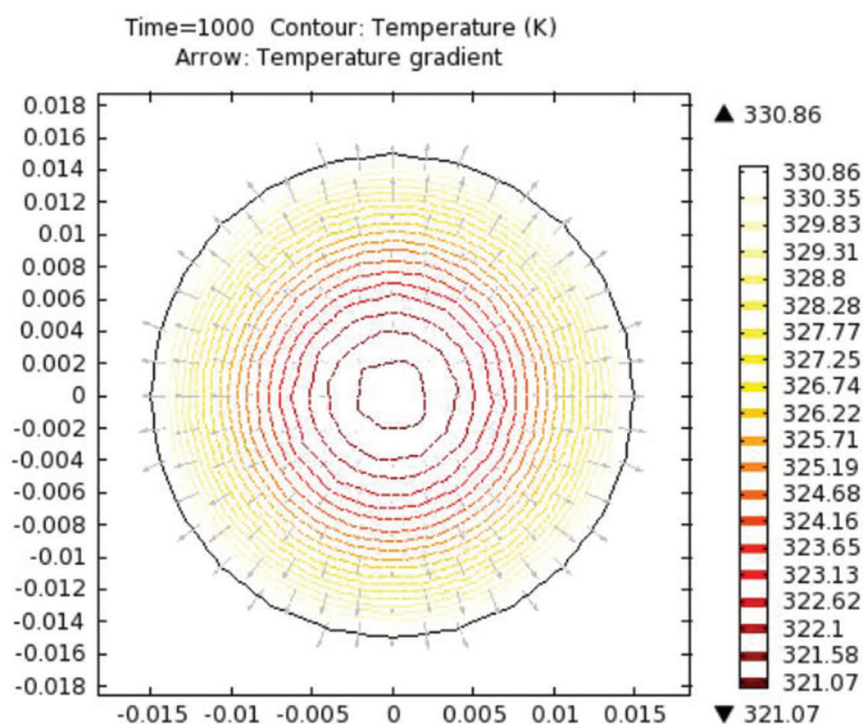


Рис. 6. Схема температурного поля образца

условия для протекания реакции карбонизации, — которое, как известно, с повышением температуры снижается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана математическая модель процесса карбонизации гидроксида кальция, которая учитывает основные химические и физические процессы, а также технологические факторы карбонизационного твердения известесодержащих материалов. Модель описывает процессы изменения концентраций исходных веществ и образования CaCO_3 за счёт диффузии, адсорбции, растворения и химических реакций. Кроме того, она учитывает тепловые эффекты, которыми сопровождается реакция карбонизация, и их влияние — как на процессы массопереноса (испарения) воды в системе, так и на изменение количества адсорбированного CO_2 .

С помощью компьютерного моделирования исследованы процессы образования CaCO_3 в зависимости от изменения водосодержания и температуры системы, влияющие на скорость реакции карбонизации и изменяющие параметры и характер всего процесса. Отмечено качественное и количественное соответствие полученных моделей и опытных данных. Установлено, что в процессе принудительного карбонатного твердения образцы на основе известки могут разогреваться до температуры 374 К, если не применять методы искусственного их охлаждения.

Таким образом, построенная физико-математическая модель позволяет с большой степенью достоверности изучать и контролировать процесс карбонизации изделий на основе известки полусухого прессования.

Библиографический список

1. Zalmanoff, N. Carbonation of Lime Putties to Produce High Grade Building / N. Zalmanoff // *Rock Products*. — 1956. — September. — pp. 84–90.
2. Despotou, E. Literature study on the rate and mechanism of carbonation of lime in mortars / [Despotou E. Schlegel T., Shtiza A., Verhelst F.] // *9th International Masonry Conference at Guimaraes (Portugal on 7-9 July 2014)*. — 2014. — pp. 1–12.
3. Kaliyavaradhan, S.K. Potential of CO₂ sequestration through construction and demolition (C&D) waste — An overview / S.K. Kaliyavaradhan, T.C. Ling // *Journal of CO₂ Utilization*. — 2017. — 20. — pp. 234–242.
4. Гусев, Б.В. Основы математической теории процессов коррозии бетона / Б.В. Гусев, А.С. Файвусович. — М.: Научный мир, 2006. — 40 с.
5. Гусев, Б.В. Физико-математическая модель процессов атмосферной коррозии бетона / Б.В. Гусев, А.С. Файвусович // *Науковий вісник ЛНАУ. Серія «Технічні науки»*. — Луганськ: ЛНАУ. — 2010. — № 14. — С. 217–227.
6. Аниканова, Т.В. К вопросу о механизме углекислотной коррозии строительных материалов / Т.В. Аниканова, Ш.М. Рахинбаев, М.В. Кафтаева // *Фундаментальные исследования*. — 2015. — № 5. — С. 19–26.
7. Стромберг, А.Г. Физическая химия / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко. — М.: Высшая школа, 2001. — 527 с.
8. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика / Д.В. Сивухин. — М.: Физматлит, 2005. — 544 с.
9. *Dynamics of Fluids in Porous Media* / J. Bear. — Elsevier Scientific Publishing, 1972.
10. Леонтьев, Н.Е. Основы теории фильтрации / Н.Е. Леонтьев. — М.: МГУ, 2009. — 88 с.
11. Langmuir, I. Chemical reaction at low temperatures / I. Langmuir // *J. Amer. Chem. Soc.* — 1915. — vol. 37.
12. Langmuir I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum / I. Langmuir // *J. Amer. Chem. Soc.* — 1918. — vol. 40.
13. Енохович, А.С. Справочник по физике и технике / А.С. Енохович. — М.: Просвещение, 1976. — 175 с.

УДК 69.059.2

АВАРИИ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И БЕЗОПАСНОСТЬ

А.Б. ТРИНКЕР, доктор техн. наук

Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation

Промышленные аварии и катастрофы, произошедшие в середине прошлого века, дали толчок созданию новых материалов, технологий и базовых нормативных документов, способствовавших предотвращению новых техногенных катастроф. Эксплуатируемые в XXI веке промышленные сооружения, построенные 40–50 лет назад, требуют периодического обследования опытными специалистами.

Ключевые слова: авария, проектирование бетона, коррозия, долговечность, контроль качества, методика ремонта, восстановление, предотвращение.

На строительных объектах аварии и катастрофы происходили во все времена и в разных странах. Опыт обследования аварийных сооружений показывает, что техногенная катастрофа — это совокупность и результат ошибок на всех стадиях строительства: проектирование, подготовка и организация, производство работ, эксплуатация. Происхождение катастроф — это наложение дефектов, нарушений и отклонений, однако основным при этом является так называемый «человеческий фактор».

АВАРИЯ НА ТЭЦ В БОЛГАРИИ

На ТЭЦ комбината «Марица-Восток» в 1961–1962 гг. была построена самая большая на Балканах дымовая труба высотой 180 метров при участии советских специалистов. Однако в период монтажа внутренней футеровки случился пожар. Большая высота оболочки трубы стала причиной возникновения огромной тяги внутри ствола, в итоге температура достигала нескольких сотен градусов Цельсия, что привело к деформации всех конструктивных элементов опалубки и шахтоподъемника, в бетоне трубы возникли трещины и вырвы. В результате возникла проблема сноса дымовой трубы высотой 180 метров и строительства новой, что вынужденно

сдвигало сроки ввода в эксплуатацию всего комбината минимум на два года.

Эту проблему успешно решила группа советских специалистов, возглавляемая Б.Д. Тринкером (фото 1) — руководителем Центральной лаборатории высотных и специальных конструкций и сооружений № 10 ВНИПИ «Теплопроект Минмонтажспецстроя СССР».



**Тринкер
Александр
Борисович**



Фото 1. Тринкер Борис Давидович (1914–2004) — советский учёный, кандидат технических наук, разработал систему проектирования и подбора составов особопрочного, осободолговечного бетона для специального строительства, в том числе для Останкинской телебашни в Москве



Фото 2. Скульптура «Родина-мать зовёт!» — композиционный центр памятника-ансамбля «Героям Сталинградской битвы» на Мамаевом кургане в Волгограде. Одна из самых высоких статуй мира

Штаб по реконструкции объекта возглавлял первый Президент Народной Республики Болгария Тодор Живков. В ходе работ советский специалист Б.Д. Тринкер с подвесной строительной люльки выполнил обследование поверхности оболочки аварийной дымовой трубы по всей высоте и предложил выполнить восстановление несущей способности трубы в соответствии с только что отработанной в его лаборатории новейшей методикой ремонта строительных конструкций и сооружений.

Суть методики состояла в нагнетании инъекционных составов, проникающих во все поры, трещины, каверны и раковины, одновременно пропитывая и укрепляя дефектную поверхность. Двухкомпонентный инъекционный состав готовили в лаборатории, консистенцию подбирали с помощью вискозиметра. Состав заливали в подготовленные и заранее расчищенные трещины. При этом требовалось обязательное соблюдение требований по технике безопасности, охране труда работников и окружающей среды, а также противопожарной безопасности.

Работы по ремонту оболочки трубы по методике Б.Д. Тринкера были выполнены за два месяца,

и дымовая труба вступила в строй действующих объектов ТЭЦ «Марица-Восток», обеспечив успешную работу всего комбината, а Б.Д. Тринкер только спустя несколько десятилетий узнал, что за «героический подвиг» по ремонту самой высокой в Западной Европе трубы болгарские сотрудники — его подчинённые — получили высшие болгарские награды!

Спустя десять лет в лаборатории № 10 был разработан насос-установка УНК-2 для механизированного нагнетания инъекционных растворов и новые, более эффективные композиции для пропитки и защиты бетона, которые представлены в разработанной Б.Д. Тринкером «Инструкции по противокоррозионной защите и ремонту полимерными материалами дымовых промышленных труб и других специальных высотных железобетонных сооружений» ВСН 344-75 Минмонтажспецстроя СССР [1].

ПРЕДОТВРАЩЁННАЯ АВАРИЯ В ВОЛГОГРАДЕ

В 1967 году был возведён самый высотный монумент «Родина-мать» в Волгограде. Размеры монумента «Родина-мать», то есть его «парусность», и суровые климатические условия эксплуатации обязывали на стадии проектирования и строительства обеспечить повышенные требования к качеству бетона (прочности, морозостойкости, водонепроницаемости) и непрерывному контролю качества (мониторингу), однако этого не было сделано. Вскоре после окончания строительства памятник начал разрушаться: в заполнителе бетона были обнаружены вредные примеси аморфных разновидностей кремнезёма, вызвавшие вырывы и трещины в бетоне сооружения, а прочность бетона была недостаточной, создалась угроза его разрушения.

Для решения проблемы специалисты лаборатории коррозии НИИЖБ Госстроя СССР (д.т.н. Ф.М. Иванов, В.Г. Батраков) посоветовали применить гидрофобизацию поверхности кремнийорганическими жидкостями ГКЖ, однако их состав был смыт первым же дождём. К.т.н. Б.Д. Тринкер произвёл обследование всей поверхности монумента, разработал специальную «Инструкцию по ремонту и восстановлению несущей способности монумента» и применил свою технологию нагнетания полимерных составов в трещины, раковины и каверны, меч был заменён (фото 2).

В результате была предотвращена авария монумента «Родина-Мать» — 18 января 1971 года директор памятника генерал-майор в отставке подарил Б.Д. Тринкеру книгу-альбом «Героям Сталинградской битвы» (изготовлена в ГДР 30.10.1968 г.) с надписью: «С глубоким уважением Б.Д. Тринкеру! Участнику строительства памятника-ансамбля «Героям Сталинградской битвы».

АВАРИЯ НА ХИМИЧЕСКОМ КОМБИНАТЕ В НОВГОРОДЕ

Произошла в 1982 году на железобетонной грануляционной башне производства нитроаммофоски НРК на Новгородском химическом комбинате «СОЮЗАЗОТ» (в настоящее время фирма «АКРОН»). Гранбашня (фото 3) была построена в конце 1970-х годов и снабжена новейшим химическим оборудованием по технологии Всесоюзного Научно-Исследовательского Института минеральных материалов и продуктов органического синтеза ГИАП Минхимпрома СССР.

Гранбашня состоит из железобетонной (марка бетона по прочности при сжатии М300) цилиндрической оболочки толщиной 200 мм, высотой 160 и диаметром 28 метров, с двухрядным армированием арматурой периодического профиля А-III, с пристроенной лестницей, транспортными галереями и трубопроводами. Внутри от отметки 0,00 до 100,00 м вся поверхность железобетона рабочей камеры была покрыта тремя слоями эпоксидно-каменноугольной смолы. На отметке 100,0 м установлено перекрытие из нержавеющей стали, на котором смонтировано многотонное дорогое импортное оборудование, предназначенное для распыления химических реагентов, поступающих из форсунок в перекрытии в рабочую камеру гранбашни, а противотоком снизу подаётся тёплый воздух. В конце процесса грануляции готовое минеральное удобрение НРК механическими скребками собирается на железобетонном полу и транспортерами отправляется в упаковочный цех и далее в транспортный цех.

НРК — комплексное минеральное удобрение: Азот + Фосфор + Калий, которое при соединении с водой образует соответствующие кислоты, вступающие в химические обменные реакции с минералами цементного камня (2-й вид коррозии по классификации д.т.н. В.М. Москвина), быстро разрушающие бетон и арматуру. В 1982 году производство НРК было остановлено в результате возникшей аварийной обстановки. Этому предшествовало в начале 1980-х годов обрушение нескольких подобных гранбашен на Чирчикском комбинате «Союзазот», в результате которого погибли операторы, работавшие в гранбашне, следствием чего стало создание специальной службы, которую возглавил автор статьи.

Необходимо отметить, что минеральные удобрения производятся на российских заводах из отечественных полезных ископаемых и обеспечивают постоянной работой тысячи отечественных учёных, инженеров, рабочих и лаборантов. Компания «АКРОН» в 2010 году имела по данным IFRS (International Financial Reporting Standards) чистую прибыль 7,3 млрд рублей. С начала производства

НРК часть готовой продукции цеха нитроаммофоски вывозили на экспорт в соответствии с взаимно выгодными договорами, заключёнными с американской корпорацией Occidental Petroleum. Корпорация поставляла комплекты оборудования для наших химических комбинатов в обмен на производимые минеральные удобрения. Следовательно, быстро отремонтировать и сохранить в работоспособном состоянии основную гранбашню производства экспортной продукции — была ответственная и престижная задача.

Автор статьи — главный технолог А.Б. Тринкер — провёл обследование с подвесных подмостей всей внутренней поверхности оболочки аварийной гранбашни. В результате проведённого обследования на высотах 80–120 метров было установлено: полностью разрушено защитное трёхслойное покрытие эпоксидно-каменноугольной смолы, бетон оболочки гранбашни по всей окружности в верхней зоне в результате коррозии (выщелачивание из бетона гидроксида кальция и обменные реакции при взаимодействии НРК с минералами портландцементного клинкера — силикатами, алюмоферритами и алюминатами) потерял несущую способность, не защищает арматуру от проникновения раствора НРК внутрь бетонного массива, в оболочке образовались



Фото 3. Грануляционная башня производства нитроаммофоски НРК на Новгородском химическом комбинате «СОЮЗАЗОТ»

кольцевые вырвы бетона высотой 1,5–2,5 м и глубиной 10–15 см, требуется немедленная остановка производства и срочный ремонт.

А.Б. Тринкер составил подробную «Инструкцию по ремонту и восстановлению несущей способности гранбашни НРК», в том числе: расчистка бетона от продуктов коррозии, проверка индикатором наличия щелочной реакции бетона, затем требовались пескоструйная обработка и промывка бетона и обнажённой арматуры, а в зонах рабочих швов и в месте сопряжения оболочки гранбашни с горизонтальным перекрытием на отметке 80,0–120,0 м — дополнительное усиление арматуры. Техническому надзору дирекции Новгородского химкомбината «СОЮЗ-АЗОТ» было строго указано на необходимость обеспечить 100%-ный контроль качества на всех стадиях работ, исключая повторения аварии.

В результате ремонт гранбашни НРК был проведён в соответствии с требованиями нормативных документов и «Инструкции», что обеспечило значительное продление срока её эксплуатации.

ПРЕДОТВРАЩЁННАЯ КАТАСТРОФА НА УКРАИНЕ

Авария могла произойти в 1979 году в период начала эксплуатации первой в СССР самой высокой и мощной башенной железобетонной градирни высотой 150 и диаметром 130 метров (гиперболический параболоид, фото 4) для обеспечения потребностей самой мощной Ровенской АЭС в посёлке Кузнецовск — возводимая ВО «Гидроспецстрой» Минэнерго СССР, до этого высота градирен не превышала 90 м.



Фото 4. Градири высотой 150 м Ровенской АЭС

После возведения примерно 15–20 метров оболочки градирни (не считая наклонной колоннады) лабораторный контроль качества обнаружил в заполнителях включения вредного минерала опала. Опал — водный аморфный кремнезём, реагирующий со щелочами, содержащимися в цементе, вызывает коррозию и разрушение бетона. Особенно быстро реакция происходит во влажных условиях эксплуатации градирни при температуре воды 40 градусов и выше, то есть в построенном 150-метровом сооружении.

В «Инструкции по возведению железобетонных труб и башенных градирен» ВСН 430-82 Минмонтажспецстроя СССР [2] в п. 6.23 (стр. 23) указано: «Мелкий и крупный заполнитель бетона, предназначенный для возведения труб и градирен, не должен содержать аморфных видоизменений кремнезёма (опал), кремнистых сланцев, пирита и других минералов, способных вступать в реакции со щелочами цемента». Служба контроля качества ВО «Гидроспецстрой» Минэнерго, руководимая автором статьи, вовремя подняла тревогу, и строительство было остановлено. После проведения в Центральной лаборатории № 10 ВНИПИ «Теплопроекта» Минмонтажспецстроя комплекса экспресс-анализов было принято решение: произвести защиту бетона возведённых ярусов по технологии к.т.н. Б.Д. Тринкера, одновременно обеспечить на карьере добычи заполнителей 100%-ный контроль качества и отбраковку партий, не соответствующих всем требованиям ВСН 430-82. Совещания, в которых принимал участие автор статьи, происходили в «Союз-Атоме» Минэнерго СССР. В результате: огромные 150-метровые градирни после ремонта обеспечивают два реактора ВВЭР-440 и два ВВЭР-1000, которые в течение более 38 лет успешно вырабатывают электроэнергию для Украины.

ПРЕДОТВРАЩЁННАЯ КАТАСТРОФА В МОСКВЕ

В рекордно короткие для мировой строительной индустрии сроки — всего лишь за четыре года — была построена Останкинская 540-метровая телебашня. К 1963 году советские учёные и инженеры имели большой опыт возведения высотных и специальных сооружений, поэтому в процессе проектирования сооружения и состава бетона были учтены все возможные варианты. «Указания по выбору состава бетона и бетонированию железобетонной башни Московской радиопередающей станции телевидения высотой 520 метров» МСН 49-64 ГМСС СССР [3], разработанные к.т.н. Б.Д. Тринкером, успешно решили проблему получения особо долговечного бетона, а уникальный бетон высокой плотности

и морозостойкости предотвратил аварию в результате пожара, произошедшего 27–28 августа 2000 года на высотах 360–460 метров на Останкинской башне, с температурой более 1000 градусов Цельсия в течение двух суток (фото 5)!

Однако почему «мрачные» предсказания иностранных «специалистов» (*Кёльнская газета от 29.08.2000 г. на двух полных страницах передаёт все подробности о пожаре и задаёт вопрос: «Рухнет башня теперь?»*) не свершились? Ответ: изобретение Б.Д. Тринкером 70 лет назад самого первого в мире пластификатора ПАВ для бетона на основе сульфитно-спиртовой барды ССБ [4], названного автором «пластимент», обеспечило получение ВЕЧНОГО БЕТОНА Останкинской Башни! Пластификатор ССБ – обработанный по специальной методике лигносульфонат, является многотоннажным отходом целлюлозно-бумажных комбинатов, этой проблеме Б.Д. Тринкер посвятил свой диплом в 1939 году, однако война и мобилизация в ноябре 1939-го помешали автору внедрить свою идею. Продолжил работу и получил патент автор только после фронта, в 1946 году.

Здесь необходимо вспомнить историю: в 1960 году никто из 500 учёных-строителей различных НИИ СССР не брался за проектирование состава бетона для Останкинской телебашни. Боевой путь командира 104-й роты стрелковой дивизии РККА капитана Б.Д. Тринкера, прошедшего на фронтах всю Великую Отечественную войну, закалил его характер, он всегда умел рисковать, его грамотность была уникальной. Б.Д. Тринкер с честью и достоинством решил проблему проектирования состава бетона.

После пожара в Останкино прошло 11 лет, и случился пожар на 300-метровой телебашне в Нидерландах, но в отличие от Московской, Голландская башня очень быстро рухнула (через 1,5 часа, фото 6).

Учитывая мягкие по сравнению с московским климатом условия при строительстве и эксплуатации в Нидерландах (отсутствие зимы, льда и снега, отсутствие низких температур до 30–40 градусов мороза, отсутствие частых колебаний температур и многократных ежесуточных циклов замораживания-оттаивания, то есть переходов через ноль градусов, когда образовавшийся в порах бетона лёд создаёт значительные растягивающие напряжения), башня в Нидерландах не выдержала высоких температур на высоте всего-то 100 метров, которые были значительно более низкими, чем при пожаре в Останкино на высотах 420–360 метров.

В 2000 году двое суток бушевало пламя в Останкино на «космической» высоте, и температура бетона превышала 1000 градусов Цельсия, но наша башня выстояла! Почему наша башня выстояла после продолжительного пожара на высоте 360–460 метров, а в Голландии на высоте 100 метров башня от пожара



Фото 5. Пожар на радиопередающей станции телевидения «Останкинская телебашня», 27–28 августа 2000 года

рухнула? Из теплотехники известно: чем выше труба (внутри оболочка башни пустая), тем сильнее тяга воздуха и тем выше температура горения, на высоте, равной 400 метров, температура горения была более 1000 градусов Цельсия!

* Цитата из учебника: «Бетон на портландском цементе при температуре выше 300 градусов распадается на составляющие минералы, арматура, расширяясь, неуправляемо деформируется, бетон рассыпается в прах....» — такое должно было случиться, но помешал разрушению башни творческий гений Автора — был создан ВЕЧНЫЙ бетон.

Выводы: долговечность и коррозионная стойкость бетона и железобетона, предусмотренные заранее при проектировании бетона для уникального сооружения



Фото 6. Пожар на 300-метровой телебашне в Нидерландах в городе Хогерсмильд, 15 июля 2011 года

учёным Минмонтажспецстроя СССР Б.Д. Тринкером, и точное выполнение технологии спасли Останкинскую башню от катастрофы в августе 2000 года [5–20].

«Принципы, заложенные при проектировании бетона для Останкинской телебашни, применяются и сейчас при строительстве сооружений, высота которых почти в три раза превышает высоту Останкинской башни. Конечно, это совсем другие материалы: используются специальные синтетические ПАВ, микро- и нанонаполнители, специальные цементы. Недаром их зовут УНРС – бетоны с экстремально высокими свойствами. Но старшая сестра этих сооружений – Останкинская телебашня – простоит ещё много десятков лет как символ достижений наших учёных и строителей» (С.П. Сивков, к.т.н., заведующий кафедрой химической технологии композиционных и вяжущих материалов РХТУ им. Д.И. Менделеева).

Библиографический список

1. Тринкер, Б.Д. ВСН 344-75 «Инструкция по противокоррозионной защите и ремонту полимерными материалами дымовых промышленных труб и других специальных высотных железобетонных сооружений», Минмонтажспецстрой СССР. – М.: ЦБНТИ, 1976. – 62 с.
2. Тринкер, Б.Д. ВСН 430-82 «Инструкция по возведению монолитных железобетонных труб и башенных гради-рен», Минмонтажспецстрой СССР, Москва, 1982. – 86 с.
3. Тринкер, Б.Д. Указания по выбору состава бетона и бетонированию железобетонной башни Московской радиопередающей станции телевидения высотой 520 метров МСН 49-64 ГМСС СССР, Москва, 1964. – 60 с.
4. Тринкер, Б.Д. Патент № 87043: «Способ приготовления и применения пластимента для бетонов, описание изобретения к заявке № 389114 от 24 декабря 1948 года; Способ приготовления и применения пластимента для бетонов и катализатора для размола цементного клинкера, предметом изобретения является способ приготовления пластимента, применяемого в качестве пластификатора для бетонов – сульфитно-спиртовая барда ССБ».
5. Тринкер, Б.Д. Современное состояние исследований, проектирования и строительства монолитных промышленных труб // Первый генеральный доклад на Всесоюзной конференции «Современные проблемы разработки, проектирования, возведения и эксплуатации монолитных железобетонных труб». – М.: ВДНХ СССР, 27–29 октября 1983.
6. Тринкер, А.Б. «Покрытия возводятся без лесов» // Журнал ВДНХ СССР. – 1974. – № 9. – С. 32–33.
7. Тринкер, Б.Д. ВСН 326-74 «Инструкция по выбору состава бетона и технологии бетонирования при креплении шахтных стволов, проходимых в сложных гидрогеологических условиях», Минмонтажспецстрой СССР: М., 1974. – 32 с.
8. Тринкер, Б.Д. Бетоны высокой морозостойкости для высотных сооружений, возводимых в зимнее время / Б.Д. Тринкер, Г.Г. Дёмина // RILEM-1975-Москва, Второй межд. симп. по зимнему бетонированию, 1975. – Т. 2. – С. 270–281.
9. Тринкер, Б.Д. Исследование влияния однократного замораживания на нарастание прочности бетона / Б.Д. Тринкер, И.Б. Заседателев, Г.Г. Дёмина // «Специальные бетоны и сооружения». – М.: ВНИПИ Теплопроект. – 1976. – № 41. – С. 14–21.
10. Тринкер, Б.Д. ВСН 336-76 «Инструкция по бетонированию конструкций тяжёлых морских причалов, возводимых в условиях низкотемпературной среды», Минмонтажспецстрой СССР. – М., 1977. – 60 с.
11. Тринкер, Б.Д. СН 406-70 «Указания по применению бетона с добавкой концентратов сульфитно-дрожжевой бражки», Госстрой СССР, 1970.
12. Тринкер, Б.Д. и др. Рекомендации по применению суперпластификатора ЛТМ в бетоне и железобетоне, Госстрой СССР, М., 1987.
13. ИМ-202-51 «Инструкция по изготовлению бетона с применением пластифицированного цемента или обычного цемента с добавкой на месте работ концентратов сульфитно-спиртовой барды» / Шестоперов С.В., Тринкер Б.Д., Стольников В.В., Гинзбург Ц.Г. – М.: Госстройиздат, 1951.
14. Локшин, В.Г. Новое направление в строительстве жилых, общественных зданий и специальных высотных сооружений / В.Г. Локшин, Б.Д. Тринкер // Монтажные и специальные строительные работы. – М.: ЦБНТИ, 1992. – № 7. – С. 3–7.
15. Тринкер, А.Б. Единая система скоростного бетонирования высотных сооружений // Бетон и железобетон. – 1983. – № 12. – С. 20–21.
16. Хаммер Арманд. Мой век двадцатый. Пути и встречи. – М.: «Прогресс», 1988. – 304 с.
17. Опыт применения полифункционального пластификатора ЛТМ / Тринкер, Б.Д., Уздин, Г.Д., Тринкер, А.Б., Чирков, Ю.Б. // Бетон и железобетон. – 1989. – № 4. – С. 4–5.
18. Совершенствование конструкций и строительство дымовых труб / к.т.н. Ф.П. Дужих, к.т.н. Б.Д. Тринкер // Строительство и архитектура: Обзор. информ. ВНИИ пробл. науч.-техн. прогресса и информ. в стр-ве, Серия «Промышленные комплексы, здания и сооружения», Вып. 2. Мировой уровень развития строительной науки и техники. – М.: ВНИИТПИ, 1990. – С. 42–47.
19. Тринкер, Б.Д. Полимерсиликатные бетоны для сборных и монолитных конструкций и сооружений / Б.Д. Тринкер, В.Н. Садакова, А.А. Кокин // Специальные строительные работы. – М.: ММСС СССР. – 1990. – № 2. – С. 18–23.
20. Тринкер, А.Б. Новый цемент в сборном и монолитном бетоне и железобетоне // Строительные материалы. – 1992. – № 12. – С. 17–19.

ЦЕМЕНТОБЕТОННЫЕ ДОРОЖНЫЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Н.М. ЗАЙЧЕНКО^а, доктор техн. наук, профессор, **А.В. НАЗАРОВА^б**, канд. техн. наук, с.н.с., доцент, **А.А. СОКОЛОВА^а**, магистрант

^а ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

^б ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет», г. Луганск

Рассмотрена целесообразность применения цементных бетонов для устройства покрытий автомобильных дорог, приведены основные преимущества в сравнении с традиционными асфальтобетонными покрытиями. Показано, что применение самоуплотняющихся бетонных смесей обеспечивает повышение качества и долговечности бетонного полотна, а также значительно снижает трудоёмкость работ. Разработаны составы самоуплотняющихся бетонных смесей для жестких покрытий автомобильных дорог. Ключевая роль для соответствия бетонных смесей условиям формования отводится добавкам, в т.ч. модификаторам вязкости.

Ключевые слова: дорожные покрытия, самоуплотняющаяся бетонная смесь, суперпластификатор, модификатор вязкости.

Введение. Рост грузоподъёмности автомобилей и их скоростей, высокие транспортно-эксплуатационные расходы требуют создания прочных дорожных одежд, улучшения качества и увеличения срока их службы. Наблюдается динамика повышения интенсивности движения (более чем в два раза за последние 10 лет) и нагрузки на ось от 6–10 до 11,5–13 т для одиночных осей; от 14–16 до 18–22 т для спаренных осей; от 20–22 до 26–30 т для строенных осей. Возрастающим требованиям движения, особенно на грузонапряжённых магистралях, в наибольшей степени отвечают цементобетонные покрытия [1–4].

Мировая практика показывает, что в качестве основной альтернативы асфальтобетону при строительстве покрытий автомобильных дорог рассматривается цементный бетон. В конце 1950-х в США началось интенсивное строительство сети межштатных магистральных дорог с цементобетонными покрытиями. В настоящее время 60 % межштатных дорог с интенсивным движением транспортных средств имеют цементобетонные покрытия.

Строительство дорог с цементобетонным покрытием в Австрии концентрируется преимущественно на высококлассных автобанах и скоростной дорожной сети, где постоянно растёт интенсивность движения с участием тяжёлых грузовиков и где повышаются требования к безопасности движения не только на трассах, но особенно в туннелях, длина которых превышает более 1000 м [5–7].

В Чехии за последние 15 лет построено 65 % новых дорог из цементобетона. В Австрии и Великобритании доля цементобетонных дорог составляет свыше 50 %, в Бельгии — 40 %, в Германии — 38 % [8]. Даже в тех странах, где асфальтобетонные покрытия имеют экономические преимущества в сравнении с цементобетонными, с целью совершенствования и развития конкурирующей технологии за счёт государственных субсидий поддерживается строительство цементобетонных покрытий на уровне 10–20 % общего объёма строительства автодорог с капитальными типами покрытий [2]. В то же время, в Российской Федерации доля дорог с цементобетонным покрытием составляет лишь 3 % [9].



Зайченко
Николай Михайлович



Назарова
Антонина Васильевна



Соколова
Анна Александровна

В качестве обобщающих преимущественных строительно-технических характеристик цементобетонных покрытий перед асфальтобетонными специалистами выделены следующие [1-12]:

- существенно более высокая прочность при сжатии, что обеспечивает надлежащую несущую способность;
- стабильность деформативных свойств цементобетона при изменении температуры, что обеспечивает ровность покрытий и исключает колейность, наплывы и т. п.;
- рост прочности цементобетона во времени при благоприятных условиях эксплуатации;
- доступность оборудования для скоростного строительства бетонных покрытий с высокими показателями ровности;
- высокая морозостойкость бетона при применении суперпластификаторов и воздухововлекающих добавок;
- светлый цвет дороги, позволяющий значительно снизить расходы на её освещение; низкий уровень шума;
- высокая износостойкость поверхности;
- стойкость к воздействию масел и топлива;
- достаточная шероховатость поверхности, обеспечивающая развитие высокой скорости автомобилей; стабильность коэффициента сцепления покрытия с колёсами автомобилей, слабая его зависимость от степени увлажнения;
- возможность использования местных сырьевых материалов (цемент, заполнители), независимость от цен на нефтяном рынке;

- значительное снижение трудозатрат при устройстве дорожных оснований и покрытий из литых бетонных смесей, улучшение условий труда, уменьшение энергоёмкости и стоимости строительства дорог.

Постановка проблемы и её связь с важными научно-практическими задачами. Современные технологии строительства цементобетонных покрытий предполагают полную автоматизацию основных процессов по укладке и уплотнению бетонных смесей, отделке поверхности бетона, устройству температурных швов и уходу за бетоном в период набора прочности. Это позволяет существенно повысить эффективность строительных работ: улучшить ровность, увеличить производительность укладки, снизить стоимость и трудоёмкость работ, увеличить срок службы дорожных одежд.

В последние годы в России и за рубежом (Германия, Испания, Канада, Норвегия, США, Швеция, Япония) на дорогах в сельской местности, на внутрихозяйственных и промышленных площадках, съездах, стоянках, на военных объектах и т. д. применяют устройство покрытий и оснований из жёстких бетонных смесей, уплотняемых укаткой. Отличительной особенностью данной технологии является использование общестроительной техники для приготовления, распределения бетонной смеси (профилировщик, автогрейдер, асфальто- или бетоноукладчик) и уплотнения (катки различного типа, в том числе виброкатки, пневмокатки) [9].

С другой стороны, при строительстве автомагистралей с жёстким дорожным покрытием повсеместно используются специальные бетоноукладчики — слипформеры, которые не требуют какой-либо стальной или деревянной опалубки и обеспечивают непрерывное бетонирование дорожного полотна толщиной от 50 до 300 мм и шириной от 1800 до 6100 мм (рис. 1). Процесс бетонирования объединяет укладку бетонной смеси, уплотнение и отделку свежесформованной поверхности в единый процесс. Бетонная смесь с подвижностью по осадке конуса менее 5 см загружается в переднюю часть слипформера, который перемещается со скоростью до 4,5 м/мин. Бетонная смесь, попадая в полость слипформера, уплотняется внутренними вибраторами [13].

Недостатком данного способа бетонирования является образование на поверхности дорожного полотна так называемых продольных «вибрационных дорожек» — в местах действия вибраторов, где свойства бетона значительно отличаются от основного массива (рис. 2) [14]. Это обусловлено высокой интенсивностью вибрационных колебаний для разжижения малоподвижной бетонной смеси.

Применение литых и самоуплотняющихся бетонных смесей в дорожном строительстве обеспечивает



Рис. 1. Бетонирование дорожного полотна слипформером

улучшение качества дорожного полотна, повышение скорости строительства, снижение энергопотребления и трудоёмкости процесса. Согласно [9] бригада из пяти человек может укладывать и обрабатывать в смену до 1000–1200 кв. м покрытий или оснований.

Использование литых бетонных смесей вместо смесей с осадкой конуса 1–4 см позволяет на 10 % снизить расход цемента, сократить трудозатраты на 30–40 % и улучшить условия труда [9].

Отличительными особенностями технологии строительства из литых и самоуплотняющихся бетонных смесей является необходимость предварительной установки опалубки или бортовых камней, отсутствие распределяющих механизмов. Бетонные смеси уплотняются под действием собственной массы и не уступают обычным бетонам по прочности, деформативности и морозостойкости (табл. 1) [15].

Создание дорожных бетонов повышенной прочности, деформативности и морозостойкости достигается с помощью комплекса технических решений – выбора исходных материалов и добавок, проектирования оптимальных составов, реализации эффективных технологий изготовления и укладки бетонной смеси, ухода за бетоном в период твердения.

Целью работы является разработка состава самоуплотняющегося бетона и исследование влияния комплексной органоминеральной добавки, представленной микрокремнезёмом, суперпластификатором, добавкой, снижающей усадку, и модификатором вязкости, на свойства бетонной смеси и бетона.

Материалы и оборудование. В качестве вяжущего вещества использован портландцемент (ПЦ) Амвросиевского цементного завода ПЦ I-500 Н (активность 510 кгс/см², предел прочности при изгибе 64 кгс/см²; нормальная густота 25,5 %); активной минеральной добавки – микрокремнезём (МК) «Mareplast SF» с насыпной плотностью 620 кг/м³ и содержанием SiO₂ 88% по массе.



Рис. 2. Продольные контуры («вибрационные дорожки») на поверхности цементобетонного покрытия

Мелким заполнителем служил песок кварцевый (П) с показателем модуля крупности $M_k = 2,35$. Крупный заполнитель представлен щебнем (Щ) гранитным Торезского карьера (фракция 5–20 мм, насыпная плотность 1480 кг/м³, марка по прочности при раздавливании в цилиндре 1000).

В качестве химических добавок использованы:

- суперпластификатор на основе модифицированного акрилового полимера Dynamon SR-3, Marei, плотность $1,08 \pm 0,02$ г/см³;
- добавка, снижающая усадку бетона, на основе полипропиленгликолевого полимера Маресиге SRA25, Marei, плотность $0,99 \pm 0,02$ г/см³;
- модификатор вязкости бетонной смеси на основе высокомолекулярного биополимера Viscofluid SCC/10, Marei, плотность $1,02 \pm 0,02$ г/см³.

Благодаря специально разработанному составу модификаторы вязкости позволяют бетонной смеси достичь оптимальной вязкости, обеспечивая

Таблица 1. Характеристика дорожных бетонов из литых смесей [15]

Конструкция дорог и тротуаров	Класс бетона по прочности на сжатие	Прочность на растяжение при изгибе, МПа	Модуль упругости, МПа	Марка по морозостойкости
Покрытия скоростных дорог и магистральных улиц	B30	5,0	40 000	F200
Улицы и дороги местного значения	B27,5	4,5	35 000	F200
Основания дорожных покрытий	B15	3,0	24 000	F100
Тротуары, отмостки, площадки	B25	4,0	29 000	F200

адекватный баланс между подвижностью и устойчивостью к расслоению.

Средний уровень прочности бетона при сжатии (f_{cm}) (класс бетона В30) и на растяжение при изгибе ($f_{c,tf}$) (класс бетона Вt4,0) для покрытий скоростных дорог и магистральных улиц (табл. 1 [15]). В соответствии с ДСТУ Б В.2.7-224:2009:

$$f_{cm} = C_n \cdot k_t = 30 \cdot 1,28 = 38,4 \text{ МПа} \quad (1)$$

$$f_{c,tf} = C_n \cdot k_t = 4,0 \cdot 1,28 = 5,1 \text{ МПа} \quad (2)$$

Расчетная величина В/Ц по прочности на растяжение при изгибе 0,42; по прочности при сжатии 0,56; по морозостойкости – не более 0,5. Для дальнейших расчётов принято значение В/Ц=0,42.

В соответствии с рекомендациями Европейской федерации специалистов по строительной химии и бетона [16] расчёт состава самоуплотняющейся бетонной смеси выполнен в соответствии со следующими принципами (табл. 2):

- соотношение вода / порошок (цемент, минеральная добавка, фракции песка мельче 0,125 мм) по объёму – от 0,80 до 1,10;
- содержание цемента – 350-450 кг/м³;
- общее содержание дисперсных материалов – от 160 до 240 литров (400–600 кг) на куб. метр;
- содержание крупного заполнителя – от 28 до 35 % по объёму бетонной смеси;
- содержание воды не более 200 л/м³.

Технологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей (СУБ) определены в соответствии с Европейскими [16] и Американскими директивами [17] по самоуплотняющимся бетонам. Показателями технологических свойств самоуплотняющихся бетонных смесей служат такие характеристики, как подвижность (текучесть), выражаемая диаметром расплыва стандартного конуса (*Slump Flow, SF*, мм), и вязкость, выражаемая временем растекания конуса бетонной смеси до достижения диаметра 500 мм

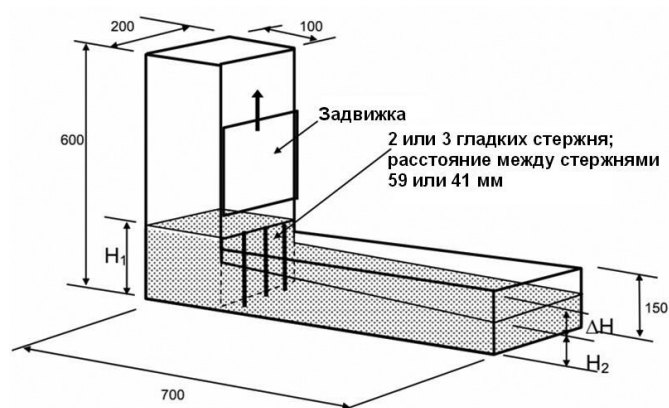


Рис. 3. Определение способности СУБ преодолевать препятствия (passing ability) с помощью L-образного ящика («L-box» test)

(Viscosity Speed, VS/VF, T_{500} , с). Для оценки способности СУБ преодолевать препятствия (Passing Ability, PA) использовали L-образный ящик («L-box») с длиной основания 700 мм, в конструкции которого имеется открывающаяся задвижка и три вертикальных арматурных стержня (рис. 3). Вертикальная часть ящика вровень с краями заполняется бетонной смесью. Одновременно с поднятием задвижки засекается время, за которое бетон растекается по горизонтальной части ящика, преодолевая препятствия из стержней. По достижении бетоном отметки 400 мм фиксируется время. После завершения истечения бетонной смеси из вертикальной части в горизонтальную измеряются уровни бетонной смеси в месте заполнения (H_1) и в месте достижения крайнего положения (H_2). Определяется отношение H_2/H_1 .

Оценку стойкости бетонной смеси к сегрегации (Segregation Resistance, SR) проводили по показателю равномерности распределения зёрен крупного заполнителя в трёхсекционной цилиндрической форме общей высотой 450 мм, высотой секции 150 мм и диаметром 150 мм, разделяемой на секции двумя задвижками (рис. 4). Цилиндрическая форма

Таблица 2. Состав самоуплотняющихся бетонных смесей

№ состава	Расход компонентов, кг/м³					Расход химических добавок, л/м³		
	ПЦ	МК	П	Щ	В	SR-3*	SRA25*	SCC/10*
1	398	54	744	901	188	2,25	—	—
2	398	54	744	901	177	2,25	4,5	6,5
3	407	45	747	901	170	3,375	6,75	9,75
4	416	36	749	901	163,5	4,5	9	13

* Расход суперпластификатор SR-3 принят 0,5–0,75–1 л / 100 кг (ПЦ + МК); расход добавки, снижающей усадку SRA25 – 1,0–1,5–2,0 л / 100 кг (ПЦ + МК); расход модификатора вязкости SCC/10 – 1,0–1,5–2,0 л / 100 кг (ПЦ + МК + П ≤ 0,125)

Таблица 3. Технологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей

Состав бетона, №	Диаметр расплыва конуса, SF, мм	Время растекания конуса, T_{500} , с	Отношение H_2/H_1 («L-box» test)	Стойкость к сегрегации, SR, %
1	534	2,0	0,83	14,5
2	546	2,5	0,85	9,3
3	558	2,8	0,87	6,4
4	562	3,4	0,88	5,1



Рис. 4. Определение стойкости СУБ к сегрегации в трёхсекционной цилиндрической форме

под углом 45 град. полностью заполняется бетонной смесью (крупность заполнителя до 20 мм) и отстаивается в вертикальном положении около 30 минут. При помощи двух горизонтальных задвижек бетонная смесь в цилиндре разделяется на три секции, и содержимое каждой из секций взвешивается. Затем содержимое каждой секции промывают водой на сите с размером ячейки 5 мм. Щебень после промывания высушивают и взвешивают. Равномерность распределения зёрен заполнителя определяется путём сравнения трёх масс сухого заполнителя крупностью 5–20 мм, полученного из трёх секций после промывания.

Оценка вероятности трещинообразования в СУБ выполнена в соответствии с ASTM C1581-04 «Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage» [18].

Результаты и обсуждение. По результатам исследования технологических свойств самоуплотняющихся бетонных смесей установлено, что разработанный базовый состав № 1, содержащий микрокремнезём

и суперпластификатор, согласно [16] характеризуется следующими классами: по подвижности – SF1, по вязкости – VS1/VF1, по проникающей способности – PA1, по стойкости к сегрегации – SR2 (табл. 3).

Введение в состав СУБ № 2 дополнительно добавок – модификатора вязкости и добавки, снижающей усадку, – обеспечивает практически те же классы технологических свойств бетонных смесей, однако при этом незначительно увеличивается текучесть смеси (диаметр расплыва конуса), повышается вязкость (класс VS2/VF2) и стойкость к сегрегации.

По мере увеличения содержания химических добавок (составы 3 и 4) наблюдается более существенное повышение подвижности, вязкости и стойкости бетонной смеси к сегрегации (снижение разброса ключевого показателя – содержания зёрен крупного заполнителя в трёхсекционной цилиндрической форме). Следует отметить, что последний показатель улучшается на фоне уменьшения содержания в бетонной смеси микронаполнителя – микрокремнезёма, за счёт модификатора вязкости, который при этом не оказывает негативного влияния на подвижность (предельное напряжение сдвига с точки зрения реологии).

Показатели предела прочности при сжатии в возрасте 28 суток нормального твердения для бетонов составов 1–3 находятся в пределах 52–58 МПа (рис. 5), что существенно превышает показатель

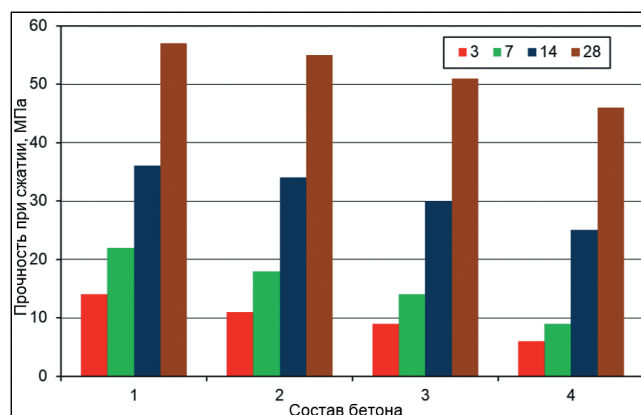


Рис. 5. Кинетика роста прочности бетона в нормальных условиях

Таблица 4. Оценка вероятности трещинообразования в бетоне согласно ASTM C 1581-04

Период времени до образования трещины t_{cr} , сут.	Уровень напряжений при образовании трещины, S , МПа/сут.	Вероятность трещинообразования
$0 < t_{cr} \leq 7$	$S \geq 0,34$	высокая
$7 < t_{cr} \leq 14$	$0,17 < S \leq 0,34$	средне-высокая
$14 < t_{cr} \leq 28$	$0,10 < S \leq 0,17$	средне-низкая
$t_{cr} < 28$	$S \leq 0,10$	низкая

средней прочности бетона класса В30 – 38,4 МПа (1), а также требуемую прочность бетона при сжатии (f_c), обеспечивающую нормируемую прочность бетона на растяжение при изгибе (3):

$$f_c = \left(\frac{C_n}{0,08} \right)^{1,5} / 10 = \left(\frac{5,1}{0,08} \right)^{1,5} / 10 = 50,9 \text{ МПа} \quad (3)$$

Отмечено также замедляющее влияние на рост прочности бетона добавки, снижающей усадку бетона SRA25. При этом более существенный эффект наблюдается в раннем возрасте твердения.

С другой стороны, установлено положительное влияние данной добавки на снижение риска трещинообразования бетона, вызванного усадочными деформациями при высыхании бетона в стеснённых условиях (в реальных условиях эксплуатации

стеснённые условия обусловлены, например, сцеплением бетона дорожной одежды с основанием).

В соответствии с ASTM C1581-04 [18] вероятность трещинообразования оценивается уровнем напряжений при образовании трещины, S , МПа в определённом возрасте бетона, которому соответствует величина предела прочности бетона на растяжение (табл. 4).

Время до образования трещины – это период времени от образования трещины до съёма с поверхности образца бетона защитной плёнки, предотвращающей испарение влаги. Трещина (микротрещина) в бетоне возникает в том случае, когда, например, напряжения, вызванные усадочными деформациями, превышают величину предела прочности бетона на растяжение. Последовательность проведения эксперимента и процессы,

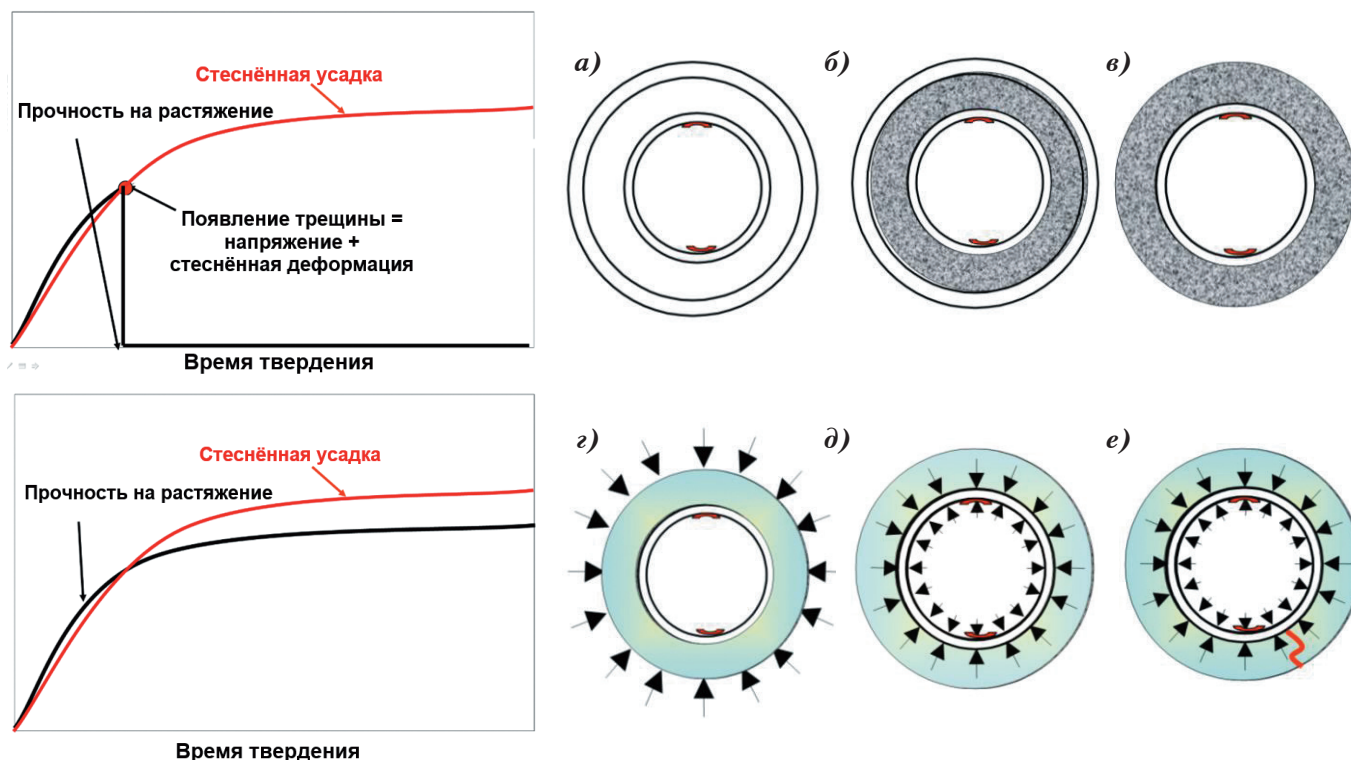


Рис. 6. Последовательность проведения эксперимента и развитие напряжений в бетоне вследствие стеснённой усадки: а) подготовка внутренней и наружной форм-колец и установка тензодатчиков; б) формование; в) съём наружной формы; г) твердение бетона и развитие усадки при высыхании; д) реакция стального кольца; е) образование трещины

происходящие в кольцах бетона и стальной формы, представлены на рис. 6.

Твердение бетона в форме в течение трёх суток происходит при температуре $t=26,5-27,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в условиях, исключающих испарение влаги из бетона.

Далее снимают внешнюю форму и торцы бетонного кольца защищают от испарения влаги парафинированием, при этом обеспечивая возможность испарения влаги с радиальной поверхности образца бетона. После этого подключают тензодатчики, которые выводятся на модуль регистрации «ОВЕН МВ-110-224.4ТД» и ПК. В дальнейшем твердение (усадка при высыхании) бетонного кольца проходит при температуре $t=26,5-28,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха 70–65 %.

Расчёт величины среднего растягивающего напряжения в бетоне как функцию времени твердения $\sigma_{avg}(t)$ (МПа) осуществляют по формуле [19]:

$$\sigma_{avg}(t) = \frac{E_s r_{ic} h_s}{r_{is} h_c} \times (\varepsilon_s(t)) \times 10^{-6}, \quad (4)$$

где E_s — модуль упругости стали (МПа);
 r_{ic} — внутренний радиус кольца бетона (мм);
 r_{is} — внутренний радиус стального кольца (мм);
 h_c — толщина стенки бетонного кольца (мм);
 h_s — толщина стенки стального кольца (мм);
 $\varepsilon_s(t)$ — деформация в стальном кольце как функция времени (мкм/м).

Геометрические параметры стального и бетонного колец приведены на рис. 7.

Установлено, что в процессе твердения и высыхания бетонного кольца состава СУБ № 1 в нем

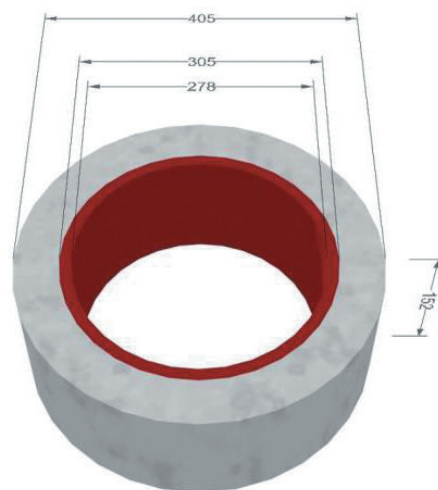


Рис. 7. Геометрические параметры стального и бетонного колец

возникают и развиваются растягивающие напряжения, которые к возрасту 13 суток твердения и 10 суток высыхания достигают величины 3,82 МПа и обуславливают образование трещины (рис. 8). Согласно данным табл. 4 при величине уровня напряжений при трещинообразовании в возрасте до 14 суток $0,17 < S < 0,34$ МПа/сут. ($S_{факт.} = 0,38$ МПа/сут.) состав СУБ № 1 можно характеризовать как бетон с высокой вероятностью трещинообразования.

Положительное влияние на снижение риска трещинообразования оказывает добавка, снижающая усадку SRA 25 (составы № 2–4), при этом по мере увеличения содержания добавки величина напряжений бетона в возрасте твердения 28 суток

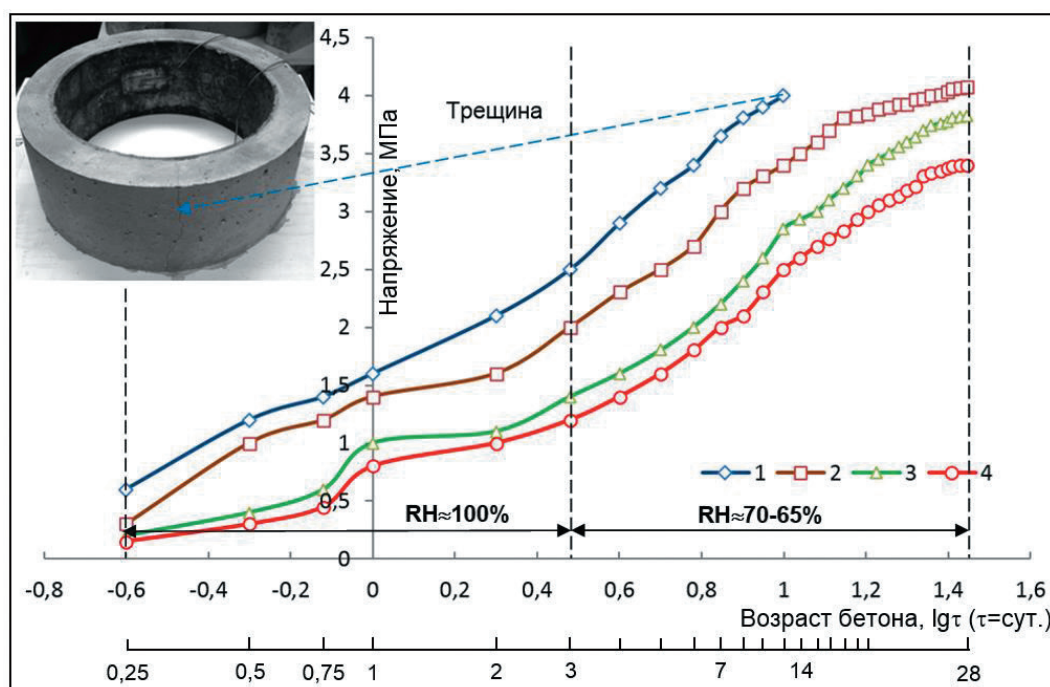


Рис. 8. Стеснённая усадка СУБ составов 1-4

и возрасте высушивания 25 суток составляет соответственно $S_{\text{факт.}} = 0,152$ МПа/сут. для состава № 2; $S_{\text{факт.}} = 0,14$ МПа/сут. для состава № 3, $S_{\text{факт.}} = 0,124$ МПа/сут. для состава № 4 — средне-низкая вероятность трещинообразования.

Библиографический список

1. Ушаков, В.В. Автомобильные дороги. Ремонт цементобетонных покрытий автомобильных дорог. Обзорная информация [Текст] / В.В. Ушаков // М.: Информационный центр по автомобильным дорогам. — 2002. — Вып. 6.
2. Ушаков, В.В. Магистральям России — Долговечные покрытия [Текст] / В.В. Ушаков // Российский информационно-технический журнал «Дороги Евразии». — 2014. — № 1 — Январь-Февраль. — С. 22–25.
3. Гамеляк, І.П. Про необхідність будівництва в Україні автомобільних доріг із цементобетонним покриттям [Текст] / І.П. Гамеляк, А.С. Корецький, С.С. Корецький // Автошляховик України. — 2013. — № 5 (235). — С. 24–31.
4. Носов, В.П. Основные тенденции в строительстве цементобетонных покрытий на автомобильных дорогах [Текст] / В.П. Носов // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2011. — № 4 (59). — С. 1–3.
5. Радовский, Б.С. Цементобетонные покрытия в США [Текст] / Б.С. Радовский // Дорожная техника. — 2009. — С. 50–58.
6. Буров, М.П. Эколого-экономические проблемы и совершенствование бетонного производства [Текст] / М.П. Буров // Технологии бетонов. — 2012. — № 9–10. — С. 26–29.
7. New Generation Cement Concretes. Ideas, Design, Technology and Applications 2 / R. Hela, L. Bodnarova et al. // LLP-Erasmus: 8203-0519/IP/Kosice 03/REN: Brno University of Technology, 2009. — 174 pp.
8. Коганзон, М.С. Автомобилизация требует жёстких дорожных одежд. Современные возможности применения цементобетона при строительстве дорожных одежд в России / М.С. Коганзон // Газета «Строительный эксперт». — 12 ноября 2004 г.
9. Коровяков, В.Ф. Литые бетонные смеси для дорожного строительства [Текст] / В.Ф. Коровяков, Туан Ми Чан // Технологии бетонов. — 2012. — № 9–10. — С. 52–55.
10. Толмачев, С.Н. Строительство автодорог с цементобетонным покрытием в Украине — реальность сегодняшнего дня [Текст] / С.Н. Толмачев // Автошляховик України. — 2013. — № 4(234). — С. 36–40.
11. Требования к цементам для дорожного и аэродромного строительства [Текст] / Энтин З.Б., Феднер Л.А., Шейнин А.М., Эккель С.В. // Цемент и его применение. — 1997. — № 1. — С. 30–33.
12. Радовский, Б.С. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей [Текст] / Б.С. Радовский, А.С. Супрун, И.И. Козаков. — К.: Будівельник, 1989. — 168 с.
13. Self-Consolidating Concrete — Applications for Slip-Form Paving: Phase I (Feasibility Study) / K. Wang, S.P. Shah, D.J. White, J. Gray et al. // Final Report: Center for Portland Cement Concrete Pavement, Technology Iowa State University. — November 2005. — 63 pp.
14. Mbele, J.-J. Optimization of Self-Consolidating Concrete for Slip-form pavement / Jean-Juste Mbele // A thesis submitted in partial fulfillment for the degree of Master of Science in Civil and Environmental Engineering: Northwestern University, April 2006. — 83 pp.
15. Дворкин, Л.И. Специальные бетоны [Текст] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. — М.: Инфра-Инженерия, 2012. — 368 с.
16. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use // SCC European Project Group, May 2005. — 63 pp.
17. «ACI 237R-07, Self-Consolidating Concrete», American Concrete Institute, 2007. — 30 pp.
18. ASTM C1581-04 «Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage».
19. Development of Test Methods to Evaluate Cracking Tendency of Repair Materials — Field Study Phase II / K.F. Von-Fay, M. Morency, B. Bissonnette, A.M. Vaysburd // MERL Research Report 2009-1, May 2009. — 44 pp.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСАДОК ОСНОВАНИЯ ПРИ ЗАМАЧИВАНИИ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ

А.А. ПЕТРАКОВ, доктор техн. наук, профессор, **В.В. ЯРКИН**, канд. техн. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

В статье выполнен анализ метода расчёта просадочных деформаций от внешней нагрузки и собственного веса грунта в соответствии с действующими нормативными документами России и Украины. Представлены результаты сопоставительного анализа с учётом размеров подошвы фундамента, величины внешней нагрузки на основание, мощности просадочной толщи и относительной просадочности грунта. Даны предложения по совершенствованию рассмотренного метода определения просадочных деформаций.

Ключевые слова: просадочные грунты, просадочная толща, просадка от внешней нагрузки, просадка от собственного веса грунта, зона просадки.

Введение. Районы с просадочными грунтами широко распространены на территории Российской Федерации (РФ) и Украины. В действующих нормативных документах РФ [1-3] и Украины [4, 5], регламентирующих проектирование на просадочных грунтах, определение просадок производится методом послойного суммирования с использованием модели линейно-деформируемого упругого полупространства. Данный метод является достаточно условным [6-8], а введение в формулу для определения просадки поправочного коэффициента k_s может изменять результаты расчёта в несколько раз.

Кроме того, различия в разбеге просадочной толщи на верхнюю и нижнюю зоны, а также в определении поправочного коэффициента, присутствующие в нормативных документах РФ и Украины, могут привести к существенно отличающимся результатам.

Анализ последних публикаций. Первые нормативные документы, регламентирующие проектирование зданий и сооружений на просадочных грунтах, появились в начале 30-х годов XX века. Основная роль в становлении науки о строительстве на просадочных грунтах на этом этапе принадлежит

Ю.М. Абелеву [9]. Дальнейшее развитие этого направления нашло отражение в трудах М.Н. Гольдштейна [10], А.А. Григорян [8], С.Н. Клепикова [11, 12], В.И. Крутова [6, 20], А.А. Мустафаева [13], З.Г. Тер-Мартirosяна [14], Я.Д. Гильмана [7, 15], В.А. Межеревского [16], А.И. Маркова, В.Р. Мустакимова [17] и др.

Многолетние исследования, проведённые в НИИ оснований им. Н.М. Герсеванова под руководством В.И. Крутова, легли в основу СНиП 2.02.01-83 [18], который в дальнейшем был актуализирован на территории РФ, и основные принципы проектирования на просадочных грунтах практически без изменений перенеслись в действующие нормы РФ [1-3]. В нормативных документах Украины [4, 5] по сравнению с [18] появились более существенные изменения, в основу которых легли исследования С.Н. Клепикова, А.С. Трегуба, И.О. Розенфельда, И.В. Матвеева и др.

Цель исследования — выполнить сопоставительный анализ определения просадочных деформаций по нормативным документам, действующим на территории Украины и России.

Основной материал. В соответствии с нормами России и Украины [1-5] полная просадка при замачивании



**Петраков
Александр
Александрович**



**Яркин
Виктор
Владимирович**

сверху больших площадей или замачивании снизу при подъёме уровня подземных вод определяется по формуле

$$S_{sl} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl,i} \cdot h_i \cdot k_{sl,i}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{sl,i}$ — относительная просадочность i -го слоя грунта;

h_i — толщина i -го слоя грунта;

n — число слоёв, на которые разбиты зоны просадки $h_{sl,p}$ и (или) $h_{sl,g}$;

$k_{sl,i}$ — коэффициент, учитывающий условия работы основания.

При этом в соответствии с [1, 2, 3, 5] коэффициент $k_{sl,i}$ принимается при суммировании в верхней зоне просадки $h_{sl,p}$ равным:

- при ширине подошвы фундамента $b \geq 12$ м — 1,0;
- при ширине подошвы фундамента $b \leq 3$ м —

по формуле

$$k_{sl,i} = 0,5 + 1,5(p - p_{sl,i}) / p_0, \quad (2)$$

где p — среднее давление под подошвой фундамента;

$p_{sl,i}$ — начальное просадочное давление i -го слоя грунта;

p_0 — давление, равное 100 кПа;

— при ширине подошвы фундамента $3 \text{ м} < b < 12 \text{ м}$;

— по интерполяции между значениями $k_{sl,i}$, полученными при $b = 3$ м и $b = 12$ м.

При суммировании в нижней зоне просадки $h_{sl,g}$ коэффициент $k_{sl,i}$ принимается [2, 3, 5]:

— при $H_{sl} \leq 15$ м — 1,0;

— при $H_{sl} \geq 20$ м — 1,25;

— при промежуточных значениях H_{sl} — по интерполяции между указанными выше значениями.

По [1] коэффициент $k_{sl,i}$ в зоне $h_{sl,g}$ принимается равным 1 независимо от толщины просадочной толщи, а по [4] и в верхней и в нижней зонах коэффициент $k_{sl,i}$ принимается равным 1.

В общем случае полное значение просадки состоит из просадки от внешней нагрузки $S_{sl,p}$ и просадки от собственного веса грунта $S_{sl,g}$

$$S_{sl} = S_{sl,p} + S_{sl,g} \quad (3)$$

При этом просадка от внешней нагрузки $S_{sl,p}$ возможна в пределах верхней зоны просадки $h_{sl,p}$, а просадка грунта от собственного веса $S_{sl,g}$ возможна в пределах нижней зоны просадки $h_{sl,g}$.

В нормативных документах РФ и Украины используется различный подход к определению просадок от внешней нагрузки $S_{sl,p}$ и собственного веса грунта $S_{sl,g}$, а также верхней и нижней зон просадки $h_{sl,p}$ и $h_{sl,g}$ (рис. 1).

В соответствии с [1-3] значения просадок от внешней нагрузки и от собственного веса грунта определяются по формуле 1 соответственно только в верхней и нижней зоне просадочной толщи.

В соответствии с [4, 5] значения просадок от внешней нагрузки и от собственного веса грунта определяются по формулам

$$S_{sl,p} = S_{sl} - S_{sl,g} \quad (4)$$

$$S_{sl,g} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl,g,i} \cdot h_i \cdot k_{sl,g}, \quad (5)$$

где $\varepsilon_{sl,g,i}$ — относительная просадочность i -го слоя грунта, при давлении, равном $\sigma_{zg,i}$; n — число слоёв, на которые разбита зона просадки $h_{sl,g}$;

$k_{sl,g}$ — коэффициент, учитывающий условия работы основания в нижней зоне просадки.

Разделение просадочной толщи на верхнюю и нижнюю зоны просадки осуществляется следующим образом.

Нижняя граница верхней зоны $h_{sl,p}$ соответствует глубине, где $\sigma_z = \sigma_{zp} + \sigma_{zg} = P_{sl}$ либо:

— в соответствии с [1-3] глубине, где σ_z минимально, если $\sigma_{z,min} > P_{sl}$;

— в соответствии с [4, 5] глубине, в пределах которой $S_{sl} - S_{sl,g} > 0$ при $\sigma_z > P_{sl}$.

Нижняя зона просадки $h_{sl,g}$ определяется:

— в соответствии с [1-3] начиная с глубины, где $\sigma_z = P_{sl}$ или σ_z минимально, если $\sigma_{z,min} > P_{sl}$, и до нижней границы просадочной толщи (рис. 1 а);

— в соответствии с [4, 5] начиная с глубины, где $\sigma_z = P_{sl}$, и до нижней границы просадочной толщи (рис. 1 б).

Возможно также возникновение нейтральной зоны, в пределах которой $\sigma_z = \sigma_{zp} + \sigma_{zg} < P_{sl}$. При этом по [1] нейтральная зона разделяет просадочную толщу на верхнюю и нижнюю зоны просадки, а по [4] нейтральная зона может возникать внутри верхней зоны просадки. Также по [4] существует возможность наложения верхней зоны просадки на нижнюю, как правило, для фундаментов с большой площадью подошвы.

Рассмотрим два варианта инженерно-геологических условий, представленных десятиметровой толщей просадочных грунтов, которые по классификации, предложенной М.Н. Гольдштейном [10], являются:

а) слабопросадочными (при $p=200$ кПа $0,01 < \varepsilon_{sl} \leq 0,03$);

б) среднепросадочными (при $p=200$ кПа $0,03 < \varepsilon_{sl} \leq 0,07$).

При этом просадка от собственного веса, определённая по формуле (5), при рассматриваемых слабопросадочных грунтах составляет 4,5 см, а при среднепросадочных грунтах составляет 20,5 см.

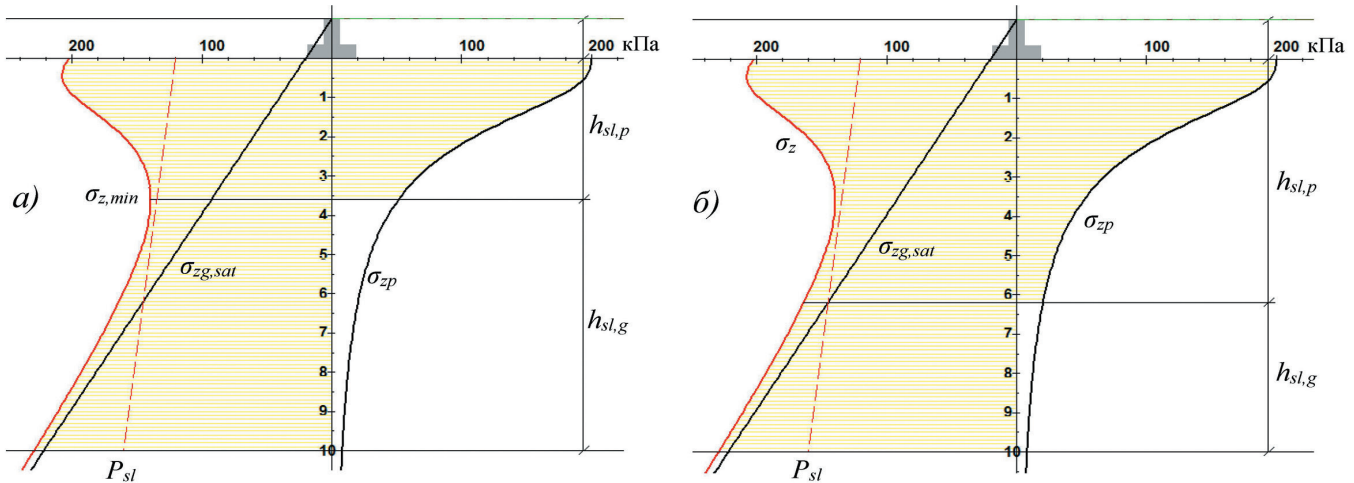


Рис. 1. Расчётные схемы для определения просадки: а – по [1-3]; б – по [4, 5]

В соответствии с общепринятой классификацией [18] рассматриваемые ИГ условия относятся к территориям: а – I типа; б – II типа.

Несмотря на то, что практический интерес, как правило, представляет диапазон давлений по подошве фундамента до 300 кПа, в данной работе рассматриваемый диапазон увеличен до 500 кПа, так как в результате неравномерных деформаций основания перераспределяющиеся давления по подошве фундамента на отдельных участках могут существенно превысить расчётное сопротивление просадочного грунта. Кроме того, в соответствии с [10, 15] увеличение давления выше 500–600 кПа приводит к снижению просадочности в связи с доуплотнением просадочного грунта без замачивания за счёт разрушения структурных связей от уровня давления. Т. е. в суммарной вертикальной деформации при высоких давлениях снижается доля просадочных деформаций и увеличивается доля деформаций, вызванных развитием зон сдвигов.

На рис. 2 представлены зависимости толщины нижней зоны просадки от давления при разной

ширине подошвы фундаментов с отношением сторон подошвы $l/b=1$. На этом и последующих графиках зависимости, полученные по [1], показаны сплошными линиями, а по [5] показаны пунктирными линиями.

Как видно из рис. 2, размер нижней зоны просадки по [1] зависит от размеров фундамента и величины давления по подошве, в то время как по [5] это величина постоянная.

С увеличением ширины подошвы фундамента при постоянном давлении увеличивается глубина, где σ_z минимально [9], что в соответствии с [1] приводит к уменьшению нижней зоны просадки $h_{sl,g}$ и увеличению верхней зоны просадки $h_{sl,p}$. Так как при определённых условиях для верхней зоны просадки применяется более высокий поправочный коэффициент, это приводит к увеличению просадки, что противоречит результатам натурных наблюдений [7]. Вследствие изменения размеров нижней зоны просадки в соответствии с [1] просадка от собственного веса, определённая для загруженной поверхности по формуле (1),

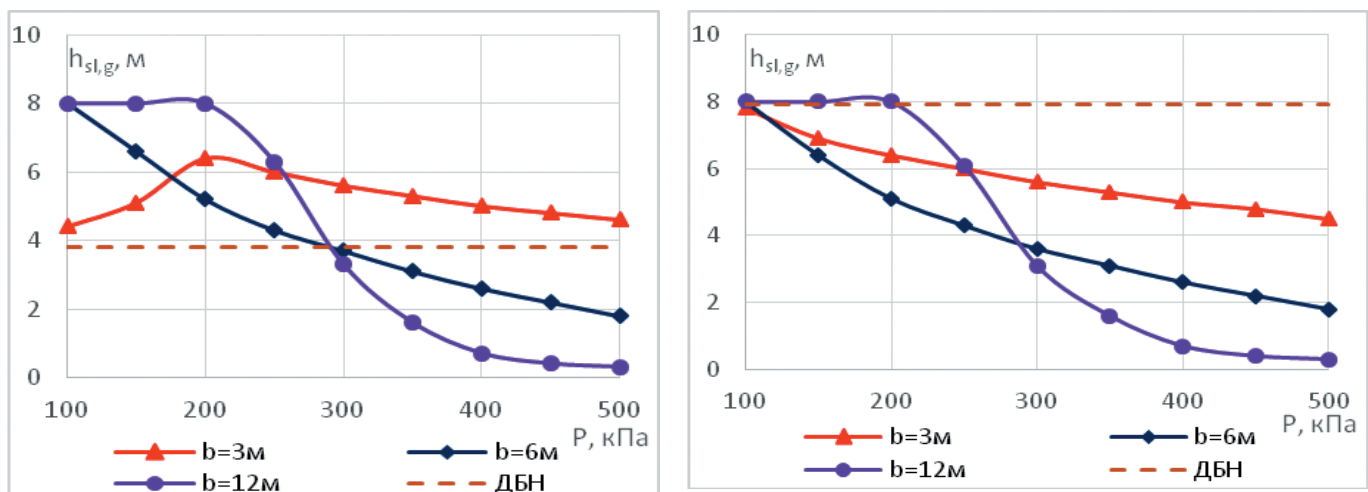


Рис. 2. Зависимости толщины нижней зоны просадки от давления: а – I типа; б – II типа

может отличаться от просадки, определённой для незагруженной поверхности по формуле (5).

На рис. 3 показаны зависимости полной просадки от давления по [1] и [5].

Так как при $b \geq 12$ м и $H_{sl} \leq 15$ м коэффициент k_{sl} принимается равным 1 и для верхней и для нижней зоны просадки, результаты по [1] и [5] полностью совпадают.

Для слабопросадочных грунтов в диапазоне давлений до 300 кПа просадки, полученные по различным нормативным документам, практически совпадают и при ширине подошвы фундамента менее 6 м могут превышать просадку для фундаментов с шириной ≥ 12 м на 50–100 %. При больших давлениях расхождение становится довольно существенным, что обусловлено линейной зависимостью коэффициента k_{sl} от давления. Данные результаты противоречат [15], так как по наблюдениям при действии высоких давлений на основание просадочность грунта снижается в результате его уплотнения без замачивания.

Для среднеспросадочных грунтов, при ширине подошвы фундамента менее 6 м и высоких давлениях по подошве, просадки по [1, 2] в 4–5 раз могут превышать просадку для фундаментов с шириной 12 м и более. Так как по наблюдениям различных авторов [9, 15] для среднеспросадочных и сильнопросадочных грунтов максимальная относительная просадочность, как правило, соответствует давлению не более 300 кПа, полученные значения просадок сильно завышены.

Увеличение относительной просадочности приводит к увеличению расхождений между результатами, полученными по СП и ДБН. Увеличение b в диапазоне от 3 до 12 м по [1] приводит к увеличению просадки, а по [5] – наоборот.

Отсюда можно сделать вывод, что коэффициент k_{sl} , определённый по формуле (2), имеет огра-

ниченную область применения и не всегда приводит к достаточно удовлетворительным и теоретически обоснованным результатам [13].

В соответствии со СНиП II-Б.2-62 [19] коэффициент условий работы k_{sl} принимался постоянным для глубины $1,5 \cdot b$ равным 2, а для остальной просадочной толщи – 1,5.

Однако расчёт просадок с применением данных значений коэффициента приводил к результатам, существенно отличающимся от фактически замеренных. При этом по наблюдениям многих авторов значения коэффициента в верхней зоне просадки для фундаментов небольшой площади были более 2, а в нижней зоне – наоборот k_{sl} мог достигать значения 1,5 только при больших толщах сильнопросадочных грунтов [8].

В связи с этим позднее на основании статистической обработки серии испытаний штампами площадью от 0,5 до 4 м² были предложены две эмпирические формулы для определения коэффициента условий работы в верхней зоне просадочной толщи [20]: в зависимости от давления по подошве и начального просадочного давления (2) и в зависимости от величины расчётной просадки фундамента от внешней нагрузки $s'_{sl,p}$, определённой по (1) при $k_{sl}=1$

$$k_{sl} = 1 + 0,2 \cdot s'_{sl,p} / s_0, \quad (6)$$

где $s'_{sl,p}$ – расчётная просадка фундамента от внешней нагрузки при $k_{sl}=1$;

s_0 – осадка, принимаемая равной 1 см.

Коэффициент корреляции для обеих формул практически одинаков, однако так как формула (2) учитывает большее количество факторов, она была окончательно рекомендована для практических расчётов [20].

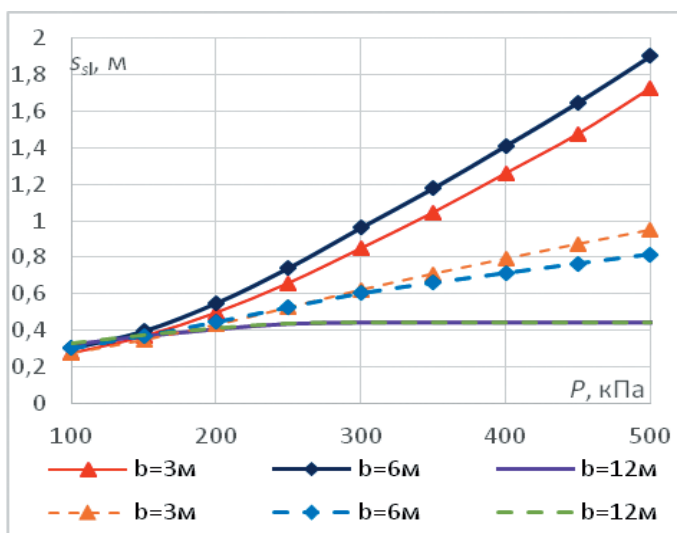
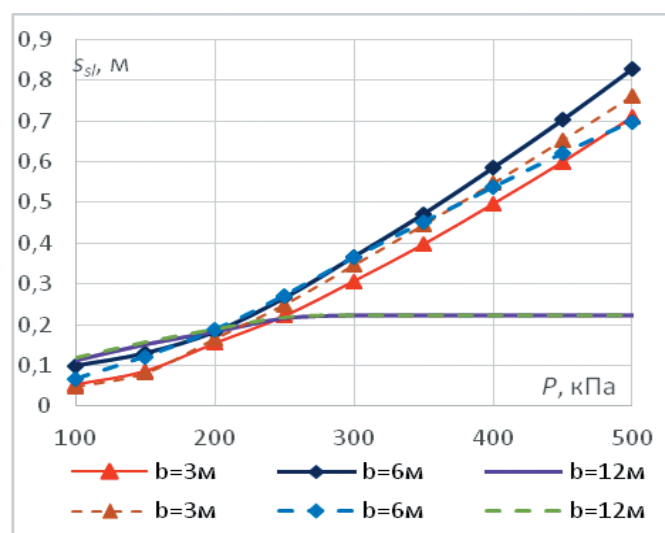


Рис. 3. Зависимости просадки от давления: а – I типа; б – II типа

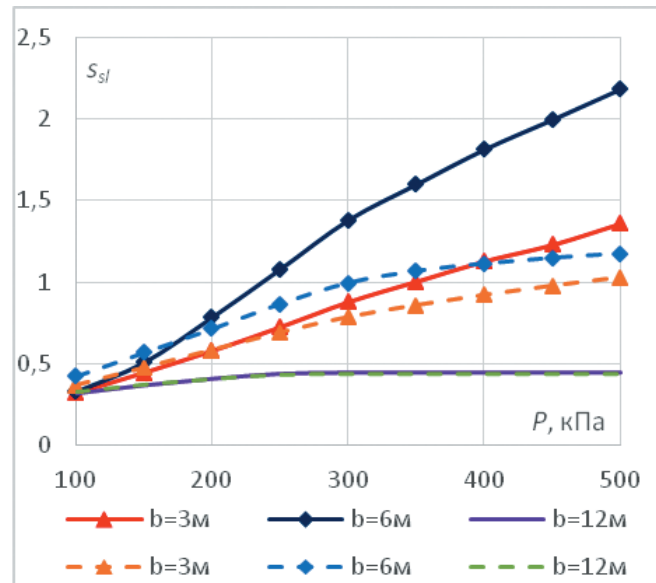
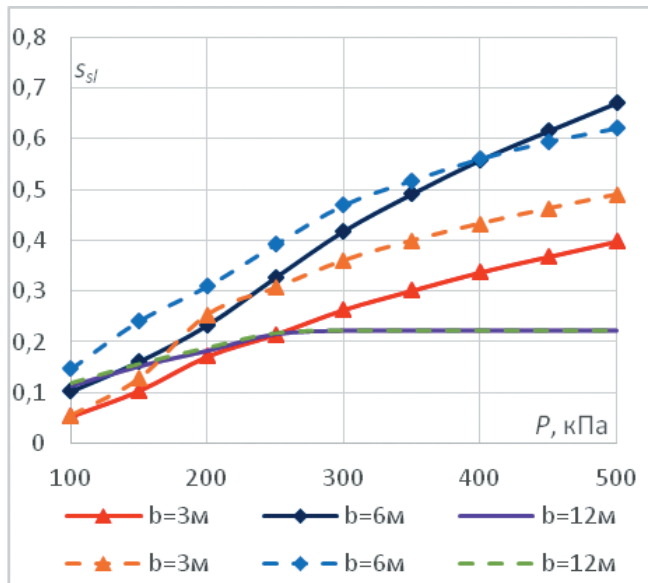


Рис. 4. Зависимости просадки от давления: а – I типа; б – II типа

В то же время при определении $s'_{sl,p}$ в формуле (6) учитываются: напряжённое состояние грунтового массива, просадочные характеристики грунта и размеры верхней зоны просадки, то есть по количеству влияющих факторов формула (6) даже превосходит формулу (2).

На рис. 4 показаны зависимости полной просадки от давления при k_{sl} , определённом по формуле (6).

Зависимость просадок от давления при коэффициенте $k_{sl} = 1$ по [4] для фундаментов с шириной подошвы менее 12 м, будут подобны показанным на рис. 3, 4 при $b = 12$ м, однако значения будут ниже, так как уменьшение размеров подошвы при неизменном давлении снижает площадь эпюры суммарных напряжений в грунтовой массе σ_z . Соответственно полученные результаты являются заниженными и не соответствуют наблюдениям различных авторов [6, 7, 9, 13, 14, 15].

Существует много различных предложений по усовершенствованию коэффициента k_{sl} путём введения нескольких дополнительных параметров, что свидетельствует о несовершенстве самой расчётной схемы, рекомендованной нормативными документами. Данная схема предполагает одномерное уплотнение, тогда как при просадке происходят как объёмные, так и сдвиговые деформации, которые могут составлять до 70 % от величины просадки [14]. Соответственно принято считать, что коэффициент k_{sl} учитывает горизонтальные (боковые) уплотнения [7, 13].

При этом, учитывая то, что зоны боковых перемещений уплотняющегося от внешней нагрузки просадочного грунта расположены по периметру фундамента, увеличение размеров подошвы приводит к снижению отношения периметра к площади подошвы и соответственно к снижению влияния боковых

перемещений грунта на величину вертикальных просадок. Соответственно при ширине подошвы фундамента 12 м и более боковыми перемещениями пренебрегают, принимая $k_{sl} = 1$. Учитывая особенность формирования зон сдвиговых деформаций, представляется правильным ограничение верхней зоны просадки, к которой применяется поправочный коэффициент, глубиной, где σ_z минимально, если $\sigma_{z,min} > P_{sl}$.

ВЫВОДЫ:

При увеличении размеров подошвы фундамента в диапазоне от 3 до 12 метров и постоянном давлении по подошве, существенно превышающем начальное просадочное, происходит уменьшение коэффициента k_{sl} , определённого по [1-3], однако при этом величина просадки все равно может увеличиваться, так как изменение распределения напряжений от внешней нагрузки по глубине приводит к увеличению верхней зоны просадки.

Коэффициент k_{sl} , определённый в соответствии с [1, 2, 3, 5] для верхней зоны просадки, имеет область применения, ограниченную определённым диапазоном давлений по подошве фундамента (ориентировочно от P_{sl} до 300 кПа), что, к сожалению, не оговорено в этих нормах. За пределами корректной области применения значения поправочного коэффициента могут приводить как к завышению, так и занижению величины просадки. Определение этого коэффициента в соответствии с [4] сильно занижает расчётные значения просадки, что может соответственно снизить надёжность зданий за счёт применения недостаточно обоснованных мер защиты.

По мнению авторов статьи, разделение просадочной толщи на верхнюю и нижнюю зоны просадки,

при вычислении полного значения просадки по формуле (1), более корректно осуществляется в соответствии с нормами РФ [1-3]. При этом разделение полного значения просадки на просадку от внешней нагрузки и просадку от собственного веса грунта корректней выполнять по формулам (4 и 5) в соответствии с нормами Украины [4, 5].

Вычисление поправочного коэффициента k_{sl} по формуле (6) позволит корректней определять просадку в более широком диапазоне давлений от внешней нагрузки, однако при этом требуется сделать его величину зависящей от ширины подошвы фундамента.

Библиографический список

1. СП 21.13330.2012. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.01.09-91. М.: 2012. — 73 с.
2. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М.: 2011. — 161 с.
3. СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. М.: 2005. — 177 с.
4. ДБН В.1.1-5-2000. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих грунтах. Київ: Держбуд України, 2000. — 66 с.
5. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти будинків і споруд. Мінрегіонбуд України. Київ: 2009. — 104 с.
6. Крутов, В.И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах. К.: Будівельник, 1982. — 224 с.
7. Гильман, Я.Д. Основания и фундаменты на лессовых просадочных грунтах. Ростов на Дону: СевкавНИПИагропром, 1991. — 218 с.
8. Григорян, А.А. О количественной оценке просадочности грунтов // «Основание, фундаменты и механика грунтов». — № 2, 2001. — С. 17–21.
9. Абелев, Ю.М. Основы проектирования и строительства на просадочных макро-пористых грунтах / Ю.М. Абелев, М. Ю. Абелев. М.: Стройиздат, 1968. — 432 с.
10. Гольдштейн, М.Н. Об определении просадочных свойств лессовых грунтов. / М. Н. Гольдштейн, Н. М. Макаренко // Основания, фундаменты и механика грунтов. — № 6, 1970. — С. 10–13.
11. Трегуб, А.С. Расчет зданий и сооружений на просадочных грунтах. / А.С. Трегуб, С.Н. Клепиков. — К.: Будівельник, 1987. — 200 с.
12. Клепиков, С.Н. Расчет сооружений на деформируемом основании. — К.: НИИСК, 1996. — 204 с.
13. Мустафаев, А.А. Фундаменты на просадочных и набухающих грунтах. — М.: Высшая шк., 1989. — 590 с.
14. Тер-Мартirosян, З.Г. Механика грунтов: учеб. пособие. — М.: Издательство АСВ, 2005. — 488 с.
15. Гильман, Я.Д. Строительные свойства лессовых грунтов и проектирование оснований и фундаментов. / Я.Д. Гильман, В.П. Ананьев. — Ростов-на-Дону: РИСИ, 1971. — 132 с.
16. Межеревский В.А. Распространение влаги и развитие просадочных деформаций в лессовом основании здания // «Основание, фундаменты и механика грунтов». — № 1, 1998. — С. 20–22.
17. Coduto Donald P. Foundation Design: Principles and Practices / Donald P. Coduto. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. — 883 pp.
18. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1985. — 40 с.
19. СНиП II-Б.2-62. Основания и фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах. М.: 1962. — 9 с.
20. Крутов, В.И. Расчет фундаментов на просадочных грунтах. — М.: Стройиздат, 1972. — 176 с.

Центр испытаний строительных изделий и конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» проводит испытания грунтов по показателям качества:

- ◆ модуль деформации;
- ◆ влажность границы текучести;
- ◆ влажность границы раскатывания;
- ◆ отпускная влажность;
- ◆ плотность грунта;
- ◆ угол внутреннего трения;
- ◆ удельное сцепление грунта;
- ◆ предел прочности на одноосное сжатие



**Свидетельство об аттестации № ИЛ-021/2017
выдано 13.03.2017 ГП «Донецкстандартметрология»**

E-mail: mailbox@donnasa.ru

КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ – К 70-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ НАЧАЛА ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ-СТРОИТЕЛЕЙ В ДОНБАССЕ

Н.М. ЗАЙЧЕНКО, доктор техн. наук, профессор, **А.А. ПЕТРАКОВ**, доктор техн. наук, профессор,
В.И. БРАТЧУН, доктор техн. наук, профессор

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Статья посвящается 70-летию юбилею начала подготовки строителей в Донбассе. Авторы приводят исторические вехи становления и развития одной из первых кафедр строительного факультета Донецкого индустриального института – впоследствии Макеевского инженерно-строительного института – Донбасской национальной академии строительства и архитектуры – кафедры строительных материалов, оснований и фундаментов, чья история начинается в 1955 году.

В 1947 году правительство СССР приняло решение об открытии в Донецком ордена Трудового Красного Знамени индустриальном институте (в настоящее время Донецкий национальный технический университет) специальности «Промышленное и гражданское строительство». В газете «Социалистический Донбасс» было опубликовано объявление о приёме студентов на эту специальность. В 1950 году из Ростовского инженерно-строительного института пригласили Маслюкова Луку Олимпиевича – доцента, кандидата технических наук, в прошлом участника строительства ДнепроГЭСа, которому руководство института поручило организацию строительного факультета. В этом же году из кафедры «Сопротивление материалов», которой заведовал В.С. Рекшинский, была выделена кафедра «Технология строительного производства». Чуть позже из кафедры ТСП выделилась кафедра строительных материалов, оснований и фундаментов – заведующий кафедрой к.т.н. Ф.И. Слипченко.

С 1961 до 1990 гг. кафедрой руководил канд. техн. наук, профессор, Заслуженный работник высшей школы Украины, участник Великой Отечественной войны, орденноносец,

Николай Федотович Почапский. Под его руководством созданы материально-техническая база, методическое обеспечение и система высокопрофессиональной подготовки инженеров-строителей-технологов. Подготовил двух канд. техн. наук (Л.И. Базжин, В.И. Гончаренко). Работал на кафедре профессором с 1991 по 2002 гг.

Первые преподаватели кафедры: Р.М. Солдатенков, Я.И. Багрий, Н.Б. Пономаренко, В.М. Гавенко, И.В. Золотухин, Т.В. Казачек, Ю.И. Гусев, Г.Г. Зуйков, О.П. Новодережкин, Н.В. Прядко, В.Н. Старчук, В.А. Матвиенко, В.И. Нефедов, Л.И. Базжин, А.Д. Лазько, Н.С. Борисова, Н.С. Михайлова, Г.Г. Кораблева, Л.И. Бунивер, А.А. Клещук (1955–1973 гг.). Позже на кафедре стали работать: В.И. Братчун, В.И. Кондращенко, А.Н. Ефремов, А.И. Бирюков, Н.П. Ботнарева, Т.П. Носова, Н.Н. Фирсов, С.И. Чурсин.

Возникновение в 1951 году строительного факультета и увеличение числа студентов различных форм обучения было обусловлено значительным расширением в 50-е гг. XX столетия капитального, особенно жилищного, строительства в стране (в частности, в Донбассе) и потребностью в высококвалифицированных инженерах-



Зайченко
Николай Михайлович



Петраков Александр
Александрович



Братчун
Валерий Иванович

строителях. Так, к концу 60-х гг. на факультете обучалось более 600 студентов. Ежегодный выпуск составлял 100–150 молодых специалистов (с вечерниками и заочниками).

Одновременно вышел ряд правительственных постановлений, направленных, в частности, на развитие полносборного индустриального домостроения, сети строительных предприятий: «О развитии производства сборных железобетонных конструкций и деталей для строительства» (1954 г.), «О развитии крупнопанельного домостроения» (1959 г.). Эти постановления положили начало созданию широкой сети высокомеханизированных предприятий строительной индустрии, определили основные направления дальнейшей индустриализации и технического прогресса строительного производства. В этой связи особую актуальность приобрела проблема насыщения таких предприятий квалифицированными инженерно-техническими работниками: мастерами, начальниками цехов, технологами и заведующими строительными лабораториями.

В 1969 году состоялся первый набор студентов на специальность «Производство строительных конструкций и деталей» (одна группа студентов ПСК-1, с 1970 г. — две). Кафедра стала выпускающей. О высоком уровне подготовки в то время на строительном факультете Макеевского филиала ДПИ свидетельствует тот факт, что из первого набора ПСК-1 из 25 человек только 16 студентов своевременно окончили в 1974 году Макеевский инженерно-строительный институт, из них впоследствии трое защитили докторские диссертации и двое — кандидатские диссертации.

В 1971–1973 гг. были построены учебный корпус № 2 и студенческое общежитие № 2 Макеевского инженерно-строительного института, организованного согласно Постановлению Совета Министров СССР № 677 от 21 сентября 1971 г. В 1973 г. на новую учебную базу переехали деканат строительного факультета

и некоторые выпускающие кафедры. В создании материальной базы важное место отводилось оснащению учебных аудиторий, лабораторий, хозяйственных служб мебелью и оборудованием.

В 1973 году кафедра строительных материалов, оснований и фундаментов была реорганизована с созданием двух подразделений — кафедры «Строительные материалы и производство строительных конструкций» и кафедры «Механика грунтов, основания и фундаменты», заведующим последней стал к.т.н., доцент Ю.Н. Гусев. С 1975 года по 1996 год кафедрой возглавлял д.т.н., профессор, академик Академии строительства Украины Ю.З. Заславский. С 1996 г. заведующим кафедрой оснований, фундаментов и подземных сооружений является д.т.н., профессор, академик, член Академии строительства Украины А.А. Петраков.

С момента создания строительного факультета, его развития, организации Макеевского инженерно-строительного института особую актуальность приобретала проблема привлечения к работе преподавателей высшей квалификации. Их в Донбассе в те годы для строительной специальности не готовили. На первом этапе развития вуза для педагогической работы приглашали учёных чуть ли не со всех уголков страны. Большую помощь в этом молодому институту оказывало руководство города Макеевки и Донецкой области. В Макеевку приехали молодые преподаватели с учёными степенями и званиями. В частности, на кафедру строительных материалов и производства строительных конструкций — А.И. Бирюков, выпускник Куйбышевского инженерно-строительного института по специальности «Производство бетонных и железобетонных конструкций», который в 1971 г. защитил кандидатскую диссертацию в Московском институте «ВНИИпроектасбестцемент». Из аспирантуры Челябинского политехнического института в 1971 г. приехала выпускница Уральского политех-



На фото: Первый состав кафедры строительных материалов, оснований и фундаментов: первый ряд, слева направо: Ф.И. Слипенко, Л.П. Лутчак, Н.Ф. Почапский; второй ряд: В.И. Нефедов, Г.Г. Зуйков, Ю.М. Гусев, В.М. Гавенко

нического института Г.Г. Кораблёва, из Украинского института инженеров водного хозяйства, г. Ровно, в 1968 г. – ассистент Н.С. Михайлова.

Из высших учебных заведений, научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтов, производственных предприятий и организаций Донецкой области на кафедры пришли: А.Д. Лазько, Н.П. Ботнарева, Н.С. Борисова (Донецкий ПромстройНИИпроект); Ю.З. Заславский, Е.Б. Дружко, Э.К. Фролов (ДонУГИ); А.Г. Доля (АДИ ДПИ, г. Горловка); Н.В. Прядко (Донецкий политехнический институт).

Лучших выпускников института, молодых преподавателей и сотрудников направляли в аспирантуры вузов Киева, Москвы, Львова, Харькова и других городов. В 1964 г. Г.Г. Зуйков после обучения в аспирантуре Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева и работы на производстве защитил кандидатскую диссертацию. Для целевого обучения по специальности «Производство строительных изделий и конструкций» в Киевский инженерно-строительный институт был направлен студент В.А. Матвиенко, который после дальнейшего обучения в аспирантуре защитил кандидатскую диссертацию.

Готовили диссертации и на месте под руководством квалифицированных преподавателей. За период с 1972 по 1982 гг. кандидатские диссертации защитили более 35 преподавателей и сотрудников института, среди них: В.И. Братчун, Л.И. Базжин, А.Н. Ефремов.

В результате через десять лет после образования института (1982 г.) количество преподавателей с учёными степенями и званиями удвоилось и составило около 50 % всего профессорско-преподавательского состава. В институте работали уже пять докторов технических наук, профессоров (Я.М. Лихтарников, Н.Ф. Почапский, Ю.З. Заславский, В.А. Пономаренко, Е.М. Левин), три кафедры возглавляли доктора наук, профессора.

Через 15 лет после образования Макеевского инженерно-строительного института (1987 г.) в вузе работало 10 докторов наук, профессоров (3,1 %) и 181 кандидат наук, доцентов (58,7 %).

Первыми среди выпускников Макеевского инженерно-строительного института – сотрудников кафедр «Строительные материалы и производство строительных конструкций» и «Механика грунтов, основания и фундаменты», которые в 1993 г. защитили докторские диссертации, были В.И. Братчун и В.А. Матвиенко (выпускник КИСИ). В последующие пять лет доктором наук, профессором стал также Е.Б. Дружко, кандидатами наук, доцентами – 38 преподавателей МакИСИ, в том числе А.И. Повзун, В.М. Гавенко, А.Н. Бачурин, С.И. Чурсин, В.Н. Губарь.

С целью динамичного развития института в начале 90-х гг. был взят курс на создание новых специальностей и специализаций. Для этого нужны были научно-педагогические кадры соответствующего профиля, которых институт не готовил. И руководство института снова использует оправдавший себя метод. Для усиления кадрового потенциала вуза и в связи с расширением номенклатуры специальностей на преподавательскую работу были приглашены профессора, ведущие ученые по соответствующим научным направлениям, среди них доктор технических наук, профессор А.А. Петраков.

В 1995 году была набрана одна группа студентов на обучение по специальности «Автомобильные дороги и аэродромы». В 1999 году кафедра строительных материалов и производства строительных конструкций переименована в кафедру «Технологии строительных материалов, изделий и автомобильных дорог». С 1991 по 2012 гг. руководил этой кафедрой доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники Украины, лауреат Госпремии Украины В.И. Братчун.

В 2012 году кафедра «Технологии строительных материалов, изделий и автомобильных дорог» была реорганизована в две выпускающие кафедры: «Технологии строительных конструкций, изделий и материалов» и «Автомобильные дороги и аэродромы».

КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ИЗДЕЛИЙ И МАТЕРИАЛОВ»

Кафедра «Технологии строительных конструкций, изделий и материалов» является выпускающей по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций» (уровень «Бакалавриат»); 08.04.01 «Строительство», программа «Перспективные строительные материалы, изделия, конструкции и технологии их производства» (уровень «Магистратура»). На сегодня кафедрой подготовлено более 1600 инженеров-строителей-технологов, из которых впоследствии семь защитили докторские и 18 кандидатские диссертации по специальности 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия».

Кадровый состав

Учебный процесс осуществляет профессорско-преподавательский состав в количестве 15 штатных сотрудников, в том числе: двух докторов технических наук, профессоров, восьми кандидатов технических наук, доцентов, а также ассистентов,

закончивших аспирантуру. Заведующий кафедрой — Н.М. Зайченко, ректор, доктор технических наук, профессор, выпускник МакИСИ (1989 г.).

Для работы на кафедре привлекаются практикующие научные сотрудники, заведующие отделами Донецкого института «ПромстройНИИпроект» кандидаты технических наук С.В. Попов, Н.Д. Хрипун.

Огромную помощь при государственной итоговой аттестации выпускников кафедры оказывали руководители и ведущие специалисты предприятий и организаций отрасли строительных материалов Донецкого региона: В.В. Малицкий (директор Макеевского ДСК), Н.А. Слободянюк (директор Донецкого ЗСК-2), В.В. Попов (к.т.н., заведующий отделом Донецкого «ПромстройНИИпроекта»), С.М. Толчин (к.т.н., гендиректор Макеевского завода ЖБИиК), В.Н. Сухинин (гендиректор Донецкого объединения «Стройматериалы»), А.В. Минин (заместитель директора Донецкого института организации строительства ДИОС), Маймула И.И. (начальник техотдела ДИОС), В.П. Давыденко (к.т.н., ведущий сотрудник Донецкого «ПромстройНИИпроекта»).

С 1972 по 2000 гг. на кафедре работал известный учёный, доктор технических наук, профессор В.А. Матвиенко, академик Академии наук Высшей школы Украины (руководил отделением проблем строительства и архитектуры). Василий Андреевич Матвиенко по праву считается одним из основоположников научного направления в бетоноведении — изучения закономерностей структурообразования и твердения бетонов, активированных в высоко-

вольтном электрическом поле, разработки эффективных электроактивационных технологий производства железобетонных изделий. Его идеи и наработки получили своё дальнейшее развитие в диссертационных работах В.Н. Губаря «Поляризационная активация заполнителей бетона» (канд. дисс. 1991 г.), Н.М. Зайченко «Бетоны, электроактивированные на стадии вибрационного уплотнения» (канд. дисс. 1995 г.), «Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой» (докт. дисс. 2009 г.), В.Г. Вешневской «Активация бетонной смеси электрическими разрядами малой мощности» (канд. дисс. 1996 г.), А.А. Нгалбиoka «Электроактивационная технология силикатного бетона» (канд. дисс. 1999 г.), Г.В. Шамриной «Цементные бетоны, активированные в электрическом поле на стадии перемешивания» (канд. дисс. 2001 г.), В.Б. Мартыновой «Модифицированный неавтоклавный газополистиролбетон с повышенными физическими и механическими свойствами» (канд. дисс. 2008 г.), А.К. Халюшева «Бетоны на основе композиционных цементов, активированных в высоковольтном электрическом поле» (канд. дисс. 2010 г.), И.Ю. Петрик «Высокофункциональные бетоны на основе обогащённой золы-уноса ТЭС» (канд. дисс.).

Продолжение традиций научных школ профессоров Н.Ф. Почапского, В.А. Матвиенко, В.И. Братчуна, педагогического мастерства доцентов Н.С. Боровой, А.Д. Лазько, Л.И. Бунивера, Н.П. Ботнаревой, А.И. Бирюкова — главный приоритет в научной и образовательной деятельности сотрудников кафедры.



На фото: преподаватели и сотрудники кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов



На фото: учебные и лабораторные помещения кафедры

Материальная база

Кафедра имеет достаточно развитую материально-техническую базу для подготовки высококвалифицированных бакалавров, магистров, кандидатов и докторов технических наук. В распоряжении кафедры находятся необходимые учебные и лабораторные помещения общей площадью более 550 кв. м.

В распоряжении кафедры комплекты оборудования для испытания широкой номенклатуры строительных материалов и изделий. Научные исследования выполняются с применением современных приборов и установок.

Кафедра располагает проектно-методическим кабинетом, где собраны типовые проекты, альбомы рабочих чертежей, справочная и учебно-методическая литература, которую широко используют студенты в процессе курсового и дипломного проектирования.

Практическая подготовка студентов осуществляется на «Полигоне по производству мелкоштучных бетонных и железобетонных изделий», оснащённом необходимым технологическим оборудованием.

При кафедре функционирует аккредитованная научно-исследовательская лаборатория испытания строительных материалов и изделий в составе Испытательного центра строительных изделий и конструкций ДонНАСА.

Учебно-методическая работа

При разработке образовательных программ подготовки специалистов кафедра координирует работу с соответствующими кафедрами ведущих вузов Российской Федерации: Национального исследовательского университета «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Академии строительства и архитектуры ФГБОУ ВО «Донской государствен-

ный технический университет» (г. Ростов-на-Дону), Строительно-технологического института ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».

Преподаватели кафедры читают лекции, проводят лабораторные и практические работы по 36 учебным дисциплинам, руководят курсовым и дипломным проектированием, практической подготовкой студентов.

По всем читаемым курсам преподавателями кафедры подготовлены учебно-методические комплексы дисциплин, включающие рабочие программы дисциплин, методические указания для самостоятельной работы студентов, конспекты лекций и презентации, в т.ч. с использованием дистанционных технологий обучения. Регулярно издаются учебники, учебные и учебно-методические пособия. Учебное пособие профессора Н.М. Зайченко «Модифицированные цементные бетоны для устойчивого развития». – Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. – 474 с. – Победитель I конкурса публикаций «Университетский учебник – 2017» (Российская Федерация).

Научная деятельность

На протяжении всего периода существования кафедры преподаватели и научные сотрудники проводили активные научные исследования по наиболее актуальным проблемам развития строительного комплекса Донецкого региона, отрасли производства строительных материалов и изделий. Исследования проводились по направлениям: «Технологии строительных материалов из пластмасс, полимеры в дорожном строительстве» (канд. техн. наук: Н.Ф. Почапский, Г.Г. Зуйков, Р.М. Солдатенков); «Строительные материалы повышенной долговечности» (канд. техн. наук А.Д. Лазько); «Минеральные вяжущие и бетоны на основе отходов промышленности Донбасса» (докт. техн. наук: В.А. Матвиенко, А.Н. Ефремов, Н.М. Зайченко,

канд. техн. наук: Н.С. Борисова, Н.П. Ботнарева, Н.Н. Фирсов, С.И. Чурсин, В.Н. Губарь); «Теоретико-экспериментальные принципы проектирования составов и структур модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности с использованием техногенного сырья» (докт. техн. наук: В.И. Братчун, Л.И. Базжин, канд. техн. наук: А.Г. Доля, А.И. Повзун, А.Н. Бачурин); «Технологии асбестоцементных изделий» (канд. техн. наук А.И. Бирюков); «Электроактивационные технологии бетона» (докт. техн. наук: В.А. Матвиенко, Н.М. Зайченко, канд. техн. наук: В.Н. Губарь, В.Г. Вешневская, В.Б. Мартынова, А.К. Халюшев).

Сегодня научная деятельность кафедры осуществляется по двум основным направлениям:

1. «Жаростойкие и огнеупорные бетоны. Строительные материалы и изделия на основе промышленных отходов Донбасса» — научный руководитель доктор техн. наук, профессор А.Н. Ефремов. Под его руководством защищены четыре кандидатские диссертации. Автор более 100 публикаций, в т.ч. монографии, пяти патентов.

2. «Модифицированные цементные бетоны с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами» — научный руководитель доктор техн. наук, профессор Н.М. Зайченко. Автор более 180 публикаций, в т.ч. трёх монографий, трёх учебных пособий, пяти патентов. Под руководством Н.М. Зайченко защищено шесть кандидатских диссертаций.

Профессорско-преподавательский коллектив кафедры выполняет научные исследования по государственному бюджетным и хоздоговорным темам. Тематика научно-исследовательских работ соответствует профилю подготовки специалистов

и способствует внедрению результатов научных исследований в учебной деятельности кафедры. Специалистами кафедры разработана «Перспективная программа развития отрасли промышленности строительных материалов Донецкой Народной Республики».

Научно-исследовательская работа студентов и молодых учёных

Студенты, обучающиеся по специальности «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций», и аспиранты (по специальности «Строительные материалы и изделия») — участники различных международных программ в рамках научных стажировок (Чехия, Словакия, Дания, Россия).

По результатам конкурса Вышеградского фонда в 2013/2014 уч. году магистрант Анатолий Захряпин прошёл стажировку в вузе Словацкой Республики (Technical University of Kosice). Тема научной работы: «Самоуплотняющиеся лёгкие бетоны с высоким коэффициентом конструктивного качества» — научные руководители д.т.н., профессор Н.М. Зайченко и Doc. Ing. PhD Alena SIČÁKOVÁ.

Стипендиатами конкурса Вышеградского фонда в 2014/2015 уч. году стали магистранты Екатерина Лобода (Technical University of Kosice, тема научной работы: «Усадка высококачественного бетона с расширяющимся компонентом и добавкой, снижающей усадку») и Ирина Лысак (Brno University of Technology, тема научной работы: «Высокопрочный дисперсноармированный стальными фибрами самоуплотняющийся бетон, содержащий минеральные наполнители из отходов промышленности»), научный руководитель д.т.н., профессор Н.М. Зайченко).

В 2012 г. в соответствии с целевой программой по направлению на обучение студентов и стажировки аспирантов, научных и научно-педагогических работников в ведущих высших учебных заведениях и научных учреждениях за рубежом — аспирант кафедры Сергей Лахтарина прошёл научную стажировку в Датском техническом университете под руководством д.т.н., профессора Оле М. Йенсена, заведующего кафедрой «Строительные материалы» факультета «Гражданское Строительство».

По результатам выполненных исследований на современном научно-исследовательском оборудовании аспирант С.В. Лахтарина в 2016 г. успешно защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук на тему «Легкие высокопрочные бетоны с повышенным коэффициентом конструктивного качества».

В 2017 г. в рамках освоения программы аспирантуры (включённое обучение) по направлению



На фото: аспирант кафедры С.В. Лахтарина

подготовки 08.06.01 «Техника и технологии строительства» по квоте Министерства образования и науки Российской Федерации и при поддержке Федерального агентства по делам СНГ, соотечественников, проживающих за рубежом, а также международному гуманитарному сотрудничеству (Россотрудничество) аспирант кафедры Владислав Нефедов прошёл стажировку в Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете» (НИУ МГСУ). Программа стажировки включала научно-исследовательскую практику на кафедре строительных материалов и материаловедения. Научный руководитель — к.т.н, доцент, заведующий кафедрой В.С. Семёнов.

При поддержке Россотрудничества в течение осеннего семестра 2017/2018 уч. года на кафедре строительных материалов НИУ МГСУ прошла обучение студентка Екатерина Христич по магистерской программе 08.04.01 «Строительство». Научный руководитель — д.т.н, профессор Е.В. Ткач.

Участие в конкурсах научных работ, дипломных проектов и магистерских диссертаций

В 2013 году канд. техн. наук, доценты А.К. Халюшев и В.Б. Мартынова вместе со своими коллегами из Украинской государственной академии железнодорожного транспорта (г. Харьков) канд. техн. наук, доцентами А.А. Плугиным и О.С. Борзяк с научной работой «Электрические воздействия на бетон (элек-

трообработка и защита от электрокоррозии бетонов, изделий и конструкций из них)» под руководством докт. техн. наук, проф.: А.А. Плугина и Н.М. Зайченко стали лауреатами премии Президента Украины для молодых учёных.

В 2013 г. аспирант кафедры Олег Конев в рамках V Международной научно-практической конференции «Научно-техническое творчество молодёжи — путь к обществу, основанному на знаниях» (НИУ МГСУ) получил дипломом I степени за доклад на тему: «Бесцементные прессованные мелкозернистые бетоны на основе кристаллических сталеплавильных шлаков» (руководитель — д.т.н., проф. А.Н. Ефремов).

В 2014 г. по результатам II тура Всеукраинского конкурса студенческих научных работ по природо-охраным, техническим и гуманитарным наукам, который проходил в Харьковском национальном университете строительства и архитектуры, научная работа «Высокопрочные самоуплотняющиеся бетоны с компенсированной усадкой для высокоточной цементации технологического оборудования», авторы магистранты Максим Штефурко и Анатолий Захряпин, отмечена дипломом II степени (руководитель — д.т.н., проф. Н.М. Зайченко).

В 2016 г. по результатам VI Международного фестиваля архитектурно-дизайнерских школ



На фото: магистрант Е. Христич; научный руководитель, зав. кафедрой СМиМ НИУ МГСУ, к.т.н., доцент В.С. Семенов; аспирант В. Нефедов





На фото: преподаватели кафедры В.Б. Мартынова и А.К. Халюшев на вручении дипломов лауреатов Премии Президента Украины для молодых учёных в Национальной Академии Наук Украины

Евразии, который проходил в Ближневосточном университете Северного Кипра (Yakin Dogu Bly, Lefkosa), студентка Анна Соколова заняла II место по специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» с выпускной квалификационной работой «Технология производства стоек конических железобетонных центрифугированных для опор высоковольтных линий электропередачи» (руководитель — д.т.н., проф. Н.М. Зайченко). Выпускная квалификационная работа студента Евгения Баханца «Технология производства длинномерных изделий по безопалубочной технологии» отмечена сертификатом (руководитель — д.т.н., проф. А.Н. Ефремов).

Финальный этап VII Международного Фестиваля архитектурно-дизайнерских школ Евразии состоялся в октябре 2017 г. на базе Самарского государственного технического университета. Дипломом III степени по специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» за магистерскую диссертацию награждён магистрант Андрей Поляков (руководитель — д.т.н., проф. Н.М. Зайченко).

Участие в студенческих олимпиадах

Ежегодно лучшие студенты специальности ПСМ принимали участие со студентами других вузов Украины, а также СНГ в творческом применении теоретических знаний и профессиональной подготовке. Во всеукраинских олимпиадах по специальности «Технологии строительных конструкций, изделий и материалов», которые проходили в 2002–2004 гг., 2007 г., команды студентов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры занимали I место (победители в индивидуальном зачёте — Ярослав Квитко, 2002, Елена Сахошко, 2004, Светлана Мартынюк, 2007); 1992, 1993 гг. — II место, 1991, 2000 гг. — III место; 1999 г. — IV место. Победитель олимпиады среди команд СНГ — Оксана Мишта, 1992.

Стало уже традицией ежегодное участие студентов, обучающихся по направлению подготовки «Строительство», в производственной практике-стажировке в НИУ МГСУ. В рамках практики студенты имеют возможность ознакомиться с передовыми технологиями производства строительных материалов и изделий, возведения зданий и сооружений (заводы ЖБИ, г. Москва, ОАО «Трансформер», ООО «КНАУФ-гипс», объект «Москва-Сити» и др.).

Международная деятельность

Преподаватели кафедры имеют тесные связи с престижными европейскими учебными и научными заведениями, выступают с докладами (публикуют научные статьи) на международных научных конференциях, посещают выставки и презентации: 1995 — Brussels, «ConChem»; 1997 — Goteborg, «X Congress on the Chemistry of Cement»; 1998 — Rzeszow, «InterRES»; 1999 — Kiyv, «The Second International Conference held at the V.D. Glukhovsky Scientific Research Institute of Binders and Materials»; 1999 — Dundee, «Creating with concrete»; 2005 — Москва, «Бетон и железобетон — пути развития»; 2006 — Ростов-на-Дону, «Строительство-2006»; 2007 — Prague, «Alkali Activated Materials — Research, Production and Utilization»; 2009, 2012, 2015 — Weimar, «17, 18, 19 Internationale Baustofftagung»; 2012 — Bucharest, «The 11-th CONFERENCE OF SCIENCE AND ENGINEERING OF OXIDE MATERIALS CONSILOX»; 2012 — London, «7-th AECEF Symposium Global Issues in Enhancing Civil Engineering Learning, Teaching, Research and Practice»; 2012 — Copenhagen, «Smart, Strong, Green, Transparent and Lightweight Materials»; 2012 — Москва, Международная научная конференция «Актуальные проблемы применения ЕВРОКОДОВ и национальных стандартов в строительстве на территории РФ и стран ЕС»; 2015 — Санкт-Петербург, «International Scientific Conference — Urban Civil Engineering and Municipal Facilities».



*На фото: студенты специальности «ПСМ»
Евгений Баханец и Анна Соколова*

*Члены жюри VII Международного
фестиваля архитектурно-дизайнерских
школ (среди участников профессора:
Е.В. Горохов, Н.М. Зайченко, Х.А. Бенаи)*



С 2014 по 2016 гг. проректор по учебной работе, заведующий кафедрой ТСМИиК, д.т.н., проф. Н.М. Зайченко выступал в качестве координатора работ по реализации международного образовательного проекта TEMPUS («RETHINK – Reform of Education THru INternational Knowledge exchange» — Реформа образования через обмен международными знаниями, № 544178-TEMPUS-2013-PT-TEMPUS-JPCR).

24 декабря 2015 года при поддержке Министерства образования и науки и Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства ДНР кафедра технологий строительных конструкций, изделий и материалов ДонНАСА, отмечающая 60-летие со дня основания, стала организатором Международной конференции «Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий», направление «Высококачественные бетоны: материалы, конструкции, технологии».

В программе конференции выступили с докладами ведущие учёные ДонНАСА, а также гости

из Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Ростовского государственного строительного университета, Южного федерального университета, Академии строительства и архитектуры Крымского федерального университета, Бендерского политехнического филиала Приднестровского государственного университета имени Т.Г. Шевченко и других вузов и организаций.

В период с 1998 по 2002 гг. на кафедре защитили кандидатские диссертации трое иностранных граждан: Абба Ахмат Нгалбиок (Республика Чад) — тема: «Электроактивационная технология силикатного бетона», научный руководитель д.т.н., проф. В.А. Матвиенко; Аль-Шамси Халед Али Саид (Республика Йемен) — тема: «Неавтоклавные газобетоны низкой водопотребности», научный руководитель д.т.н., проф. А.Н. Ефремов; Адиль Ибрагим Мохамед Эль-Хаг Атгин (Республика Судан) — тема: «Дорожные асфальтополимерсеробетоны для региональных условий Республики Судан», научный руководитель д.т.н., проф. В.И. Братчун.

Лучшие выпускники кафедры

Братчун В.И. (1974 год вып.) — заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов ДонНАСА, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники Украины, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники.

Ефремов А.Н. (1974 год вып.) — профессор кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, доктор технических наук, профессор, отличник образования Украины.

Кондращенко В.И. (1974 год вып.) — заместитель директора по научной работе института дорог, строительства и сооружений Московского государственного университета путей сообщения, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные материалы и технологии», учёный секретарь совета по механике разрушения бетона, железобетона и строительных материалов Российской академии архитектуры и строительных наук.

Ремнев В.В. (1975 год вып.) — заместитель генерального директора Федерального государственного унитарного предприятия «Научно-исследовательский центр «Строительство» (объединение институтов «НИИЖБ», «НИИСК», «НИИОСП»), доктор технических наук, профессор, Заслуженный строитель России, Ветеран строителей космодрома «Байконур», полковник запаса, награждён 13 медалями СССР и России.

Пушкарёв Е.И. (1975 год вып.) — генеральный директор ЗАО «Фундаментстройпроект», г. Москва, Заслуженный строитель Ханты-Мансийского автономного округа России.

Бондарь В.П. (1979 год вып.) — главный технолог ТОВ «ДИСК-БЕТОН», г. Макеевка.

Назарова А.В. (1980 год вып.) — доцент кафедры строительных конструкций Луганского

национального аграрного университета, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент.

Каращук В.Н. (1983 год вып.) — генеральный директор ТОВ «Альтком-Бетон», г. Бровары, Киевская обл.

Гончар В.В. (1983 год вып.) — директор ТОВ «Альтком-Бетонбуд», г. Донецк.

Зайченко Н.М. (1989 год вып.) — ректор Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, заведующий кафедрой технологий строительных конструкций, изделий и материалов, доктор технических наук, профессор, отличник образования Украины.

Домаровский И.К. (1993 год вып.) — и.о. первого заместителя главы города Макеевки (по вопросам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций, мобилизационной работы, муниципальной собственности, распределения жилья, экологии), полковник.

КАФЕДРА «ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ И ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ»

Кафедра «Основания, фундаменты и подземные сооружения» является выпускающей по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Промышленное и гражданское строительство» (уровень «Бакалавриат»), осуществляет подготовку по магистерским программам направления 08.04.01 «Строительство».

В 1973 году при реорганизации кафедры строительных материалов, оснований и фундаментов была образована самостоятельная кафедра механики грунтов, оснований и фундаментов. Кафедру возглавил известный учёный в области оснований и фундаментов канд. техн. наук, доцент Ю.М. Гусев, занимавшийся разработкой и совершенствованием методов расчётов фундаментов.

В 1973 году на кафедре был создан геологический музей, включивший в себя ряд лучших



На фото: преподаватели и сотрудники кафедры оснований, фундаментов и подземных сооружений

образцов минералов и горных пород Восточной Сибири и Донецкого региона.

В период с 1975 по 1996 гг. кафедрой успешно руководил участник Великой Отечественной войны, д.т.н., профессор, действительный член Академии Строительства Украины Ю.З. Заславский, опытный производственник и научный деятель в области надземного и подземного строительства Донбасса.

С 1978 по 1996 гг. при кафедре функционировала отраслевая лаборатория «Основания и подземные сооружения» Минуглепрома Украины, являвшаяся головной по вопросам ресурсосберегающих способов обеспечения устойчивости подземных сооружений.

В 1990 году кафедра была переименована в кафедру оснований, фундаментов и подземных сооружений.

В 1996 году кафедру возглавил д.т.н., профессор А.А. Петраков, авторитетный специалист в области теории расчёта, проектирования и эксплуатации зданий и сооружений на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями и на подрабатываемых территориях.

В 1996 году была создана и успешно функционирует научно-исследовательская лаборатория «Инженерная защита зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях».

Кадровый состав

Научно-педагогическую деятельность осуществляют 11 штатных преподавателей, в том числе шесть кандидатов технических наук, доцентов. Наиболее опытные преподаватели кафедры: Э.К. Фролов; В.В. Яркин; Т.В. Кошелева; Н.А. Петракова.

Средний возраст преподавателей – 49 лет.

Заведующий кафедрой – доктор технических наук, профессор, действительный член Академии Строительства Украины А.А. Петраков, выпускник строительного факультета Донецкого политехнического института (1965 г.). Труды по теории расчёта, проектирования и эксплуатации зданий и сооружений на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями и на подрабатываемых территориях известны далеко за пределами Украины. Подготовил двух докторов и 15 кандидатов технических наук.

Материальная база

Кафедра имеет достаточную материально-техническую базу для подготовки студентов образовательных уровней «Бакалавр», «Специалист», «Магистр» и проведения научно-исследовательской работы студентами, аспирантами, докторантами

и соискателями. В распоряжении кафедры аудитории и лаборатории общей площадью 450 кв. м. Оборудована лекционная аудитория, оснащённая мультимедийной техникой.

Особую гордость кафедры составляет учебная лаборатория «Инженерная геология», в которой расположен геологический музей. Недра Донецкого бассейна и Приазовья богаты уникальными



На фото: учебная лаборатория «Инженерная геология», в которой расположен геологический музей



На фото: преподаватели кафедры проводят лабораторные работы по механике грунтов

месторождениями и проявлениями полезных ископаемых и самоцветных камней. Студентов ждёт удивительное путешествие в мир самородных кристаллов, отделочных камней и образцов различных горных пород Донбасса. В музее представлены редкие образцы топаза, корунда, горного хрусталя, мориона, аметиста, циркона, турмалина, нефелина, жадеита, кальцита, гипса, граната и многих других минералов. Фонд музея составляют коллекции камней Восточной Сибири, приобретённые академией, и камни, собранные в Донецком регионе. Неоценимый вклад в формирование музея внесли кандидаты геолого-минералогических наук Е.М. Шеремет и В.Ф. Оглоблин, кандидаты технических наук О.П. Новодережкин и Э.К. Фролов.

Учебная и научная лаборатория «Механика грунтов» содержит приборы для определения физико-механических свойств грунтов и входит в состав аккредитованного Центра испытаний строительных изделий и конструкций ДонНАСА.

Кафедра располагает компьютерным классом с ПЭВМ и лицензированным программным обеспечением, а также методическим кабинетом, в котором представлены методические указания, справочно-информационная литература, образцы курсовых и дипломных проектов.

Учебная деятельность

На кафедре преподаётся комплекс инженерно-строительных и профессионально-ориентированных дисциплин, связанных с вопросами механики грунтов, оснований и фундаментов гражданских и промышленных зданий и сооружений.

Преподаватели кафедры читают лекции, ведут практические и лабораторные занятия, руководят курсовым и дипломным проектированием.

В учебный процесс внедряются кредитно-модульная система, дистанционное обучение, компьютерные технологии. Большое внимание уделяется совершенствованию методического обеспечения учебного процесса. Заведующий кафедрой д.т.н., профессор А.А. Петраков входит в число авторов учебников «Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты» (2004 г.), «Механика грунтов, основания и фундаменты» (2012 г.), трёх учебных пособий. В учебном процессе широко используются учебно-методические указания, охватывающие все дисциплины, читаемых на кафедре курсов.

Научная работа

Научные исследования, проводимые на кафедре, посвящены решению современных проблем в области строительства и эксплуатации оснований и фундаментов зданий и сооружений в сложных горно-

и инженерно-геологических условиях. Научные исследования проводятся в рамках кафедральной и хоздоговорных тем, тематики научно-исследовательского центра «Инженерная защита зданий и сооружений в сложных горно- и инженерно-геологических условиях» по следующим научным направлениям:

– «Теория взаимодействия зданий и сооружений с деформирующимся основанием, в том числе на подрабатываемых территориях, просадочных грунтах, карстоопасных территориях, оползнеопасных участках побережья Азовского моря и др.» (руководитель докт. техн. наук, профессор А.А. Петраков);

– «Разработка и исследование фундаментов повышенной несущей способности и методов их расчёта на основе гипотез геомеханики и теории строительных конструкций» (руководитель докт. техн. наук, профессор А.А. Петраков).

С 1978 по 1996 гг. при кафедре функционировала отраслевая лаборатория «Основания и подземные сооружения» Минуглепрома Украины, являвшаяся головной по вопросам ресурсосберегающих способов обеспечения устойчивости подземных сооружений. Комплекс исследований, проведённых сотрудниками отраслевой лаборатории и кафедры, позволил разработать конструкции крепей, использующих несущую способность упрочнённого массива, закрепляющие растворы на основе отходов и побочных продуктов местных производств, которые получили широкое применение в шахтном и надземном строительстве Донбасса.

Разработки отраслевой лаборатории отмечены: медалями ВДНХ СССР в 1986 и 1989 гг., ВДНХ УССР в 1987 г., Госстроем СССР на двух Всесоюзных конкурсах в 1978 и 1987 гг. (первая и вторая премии), Минвузом СССР в 1982 и 1986 гг. (грамота и вторая премия на конкурсе НИР), Минвузом УССР в 1981 г. (грамота), Минуглепромом УССР в 1982 г. (третья премия на Всесоюзном конкурсе).

Под руководством докт. техн. наук, профессора А.А. Петракова в 1996 году начаты научные исследования по проблеме диагностики технического состояния зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. По результатам этих работ в 1999 году изданы региональные строительные нормы «Правила оценки технического состояния и паспортизации зданий и сооружений, эксплуатирующихся в сложных инженерно-геологических условиях» (РБН В 3.1-01-99) и ДБН, регламентирующие реконструкцию зданий и сооружений.

Преподаватели и сотрудники кафедры приняли участие в разработке ДБН «Будівлі і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах», опубликовали более 400 научных трудов, восемь монографий, получили 31 авторское свидетельство, разработали четыре технических условия. Отдельные

разработки использованы в 10 нормативно-инструктивных документах.

Научно-исследовательский центр «Инженерная защита зданий и сооружений в сложных горно- и инженерно-геологических условиях» выполняет конкретные работы, вызванные нуждами производства: прогноз развития опасных геомеханических процессов и разработка мер защиты от них; проектирование оснований в сложных инженерно-геологических условиях, оценка технического состояния подземных и надземных конструкций и разработка документации по восстановлению их технической пригодности.

В научных исследованиях активно участвуют студенты, о чём свидетельствуют тематика их дипломных проектов, разделы НИРС в курсовых и дипломных проектах, доклады на научно-технических конференциях, публикации и изобретения.

Основными направлениями НИРС являются: «Особенности строительства фундаментов высотных зданий и сооружений», «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений на подрабатываемых территориях Донбасса», «Расчёт и проектирование зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях», «Усиление оснований и фундаментов традиционными и современными методами», «Проектирование фундаментов новых конструкций», «Строительство и реконструкция зданий и сооружений на оползнеопасных склонах» и др.

Международная деятельность

Международная деятельность проводится по направлениям: подготовка бакалавров, магистров и аспирантов из числа иностранных студентов для других стран; совместная подготовка бакалавров и магистров с ведущими учебными заведениями Российской Федерации. Кафедра сотрудничает с Национальной Ассоциацией по механике грунтов и фундаментостроению, регулярно участвует в международных научно-технических и научно-практических конференциях в области строительства и фундаментостроения, публикует результаты научных исследований преподавателей, сотрудников кафедры и студентов. Кафедра поддерживает связи с Российской Национальной горной академией, со строительными вузами Москвы, Санкт-Петербурга, Тулы, Полтавы, Днепра, Одессы, и др.

Докторант кафедры канд. техн. наук, доцент В.В. Яркин в 2016 году прошёл стажировку в политехническом институте Лейрия (Португалия) в рамках международной программы TEMPUS.

Аспирант кафедры Е.О. Брыжатая в 2016–2017 гг. прошла стажировку в университете Аликонте (Испания) по программе Erasmus Mundus в рам-



На фото: докторант кафедры В.В. Яркин на научной стажировке в политехническом институте Лейрия (Португалия)

ках проекта академической мобильности TEMPUS (Trans – European Mobility Project on Education for Sustainable Development).

Лучшие выпускники кафедры

С 1977 года кафедра является выпускающей. Ежегодно кафедра выпускает около 45 специалистов образовательного уровня «Бакалавр», «Магистр». Многие из них успешно продолжили обучение в аспирантуре и докторантуре. В их число входят молодые преподаватели кафедры: канд. техн. наук, доценты: В.В. Яркин, Н.А. Петракова, Р.А. Таран, магистры: Н.С. Масло, Е.О. Брыжатая.

КАФЕДРА «АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ И АЭРОДРОМЫ»

Кафедра «Автомобильные дороги и аэродромы» является выпускающей по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» профиль «Автомобильные дороги» (уровень «Бакалавриат») и 08.04.01 «Строительство» программа «Теория и практика проектирования и строительства автомобильных дорог и аэродромов» (уровень «Магистратура»). С 2000 года подготовлено более 800 бакалавров, специалистов и магистров.

Кадровый состав

На кафедре работают восемь штатных преподавателей, все с учёными степенями и званиями, в том числе доктор технических наук, профессор, семь кандидатов технических наук, доцентов. Заведующий кафедрой – Валерий Иванович Братчун, докт. техн. наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники Украины, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, выпускник МакИСИ (1974 г.). Подготовил двух докторов и 21 кандидатов технических наук.

Для работы на кафедре привлекались практикующие инженеры: директор Донецкого института «Донгипродор» И.М. Шербак, главный инженер института «Донецкгипродор» В.В. Коновалов, директор «Дортехнология» Л.П. Волков.

С 1997 по 2017 гг. на кафедре работал известный учёный в области физико-химической механики композиционных строительных материалов, заведующий отделом физико-химических исследований и механических испытаний Донецкого УкрНИИ-пластмасс, канд. техн. наук, доцент М.К. Пактер. Благодаря его консультациям состоялись как исследователи д.т.н., профессор В.И. Братчун, к.т.н., доценты: В.Л. Беспалов, Д.В. Гуляк, А.А. Стукалов.

В разные годы подготовку дорожников вели канд. техн. наук, доцент И.В. Шилин (в настоящее время заведующий кафедрой автомобильных дорог и искусственных сооружений Горловского автомобильно-дорожного института); старший преподаватель А.Г. Свириденко, к.т.н., доцент С.С. Полищев.

Средний возраст преподавателей – 48 лет.

Для государственной итоговой аттестации выпускников специальности «Автомобильные дороги и аэродромы» привлекались и привлекаются руководители крупных организаций и предприятий дорожной отрасли: генеральные директора Донецкого объединения «Облавтодор» и дорожной службы: В.Н. Ходун, Е.Н. Соловьев, А.Н. Ставитский, директор дорожного департамента ООО «ДОНСПЕЦПРОМ» А.И. Косик, директор ВП «МОСТ» В.В. Тодирика.

Материальная база

Кафедра имеет развитую материально-техническую базу для подготовки бакалавров, специалистов и магистров, кандидатов и докторов технических

наук. В распоряжении кафедры находятся аудитории и лаборатории площадью более 500 кв. м. На кафедре оборудованы три специализированные аудитории для проведения лекционных и практических занятий, оснащённые мультимедийными проекторами. Учебные лаборатории оснащены прессами, термощафами, мешалками, дифференциальным автоматическим калориметром ДАК-1А-11, ротационным вискозиметром РГИЭ-1М, электронными весами, фотоэлектрокалориметром ФЭН-КФК-2 и многими другими приборами и оборудованием.

Учебная работа

Преподаватели кафедры ведут все виды занятий по 27 дисциплинам специальности «Автомобильные дороги», руководят практиками, курсовым и дипломным проектированием.

По всем дисциплинам в 2015–2017 гг. переработаны и переизданы электронные конспекты лекций, учебно-методические пособия к выполнению всех видов индивидуальной работы студентов.

За учебные годы 2014–2015, 2015–2016, 2016–2017 – 63 выпускника (бакалавры, специалисты и магистры) на «хорошо» и «отлично» прошли квалификационную аттестацию в Донском государственном техническом университете и получили дипломы Российской Федерации.

О качестве подготовки студентов свидетельствуют победы и занятые призовые места на Всеукраинских олимпиадах по специальности «Автомобильные дороги и аэродромы». В 2005 году в Горловском автомобильно-дорожном институте состоялась первая олимпиада студентов автомобильно-дорожных вузов Украины по специальности «Автомобильные дороги и аэродромы». Студент Д.И. Бородай



На фото: преподаватели и сотрудники кафедры автомобильных дорог и аэродромов

(в настоящее время к.т.н., доцент кафедры АДА) занял второе место, а в 2006 г. стал победителем олимпиады; в 2007 г. студент В.А. Охачкин на Всеукраинской олимпиаде в Горловском автомобильно-дорожном институте занял третье место.

В 2010–2011 уч. году в Дон-НАСА проведена Всеукраинская олимпиада по специальности «Автомобильные дороги и аэродромы». Команда студентов-дорожников заняла первое место, а студенты И.Ю. Литвиненко и Ю.И. Сова заняли соответственно первое и третье место. В 2013 году в Полтавском национальном техническом университете им. Ю. Кондратюка студент А.К. Романченко занял третье место, а команда студентов АДА-15 (в составе: А.К. Романченко, В.В.Самойлов, Е.В.Артюхов) также стала третьей.

Международная деятельность

Международная деятельность осуществляется по таким направлениям: подготовка аспирантов для других стран; совместное выполнение научно-исследовательских проектов; совместная подготовка бакалавров и магистров с ведущими образовательными организациями Российской Федерации; создание совместных инжиниринговых центров; совместное издание учебных пособий и монографий с научно-педагогическими сотрудниками ведущих родственных кафедр Российской Федерации.

В 1998 году гражданин Республики Судан Эль-Хаг Адиль Ибрагим и в 2013 году гражданин Республики Ирак Ахмед Талиб Муташар Муташар окончили аспирантуру и под руководством д.т.н., профессора В.И. Братчуна защитили кандидатские диссертации.

В 2006–2008 гг. для Китайской Народной Республики научно-педагогические сотрудники кафедры выполнили научно-исследовательский проект «Дёгтеполимербетоны и асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой для строительства



На фото: д.т.н., профессор В.И. Братчун на вручении Государственной премии Украины в области науки и техники в Национальной Академии Наук

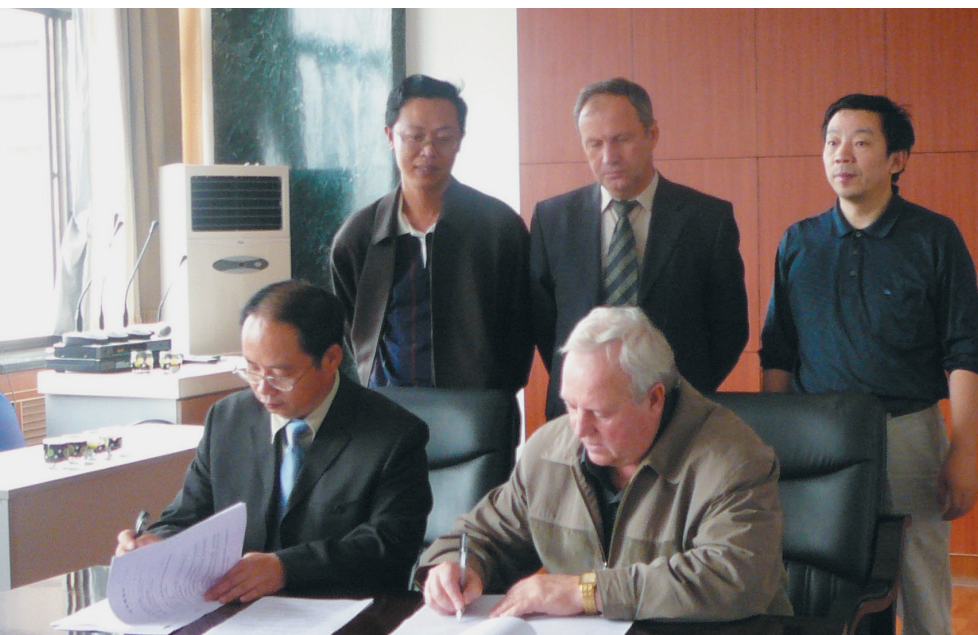
покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности», а также «Литые влажные дёгтешлаковые смеси для ямочного ремонта нежестких дорожных одежд в неблагоприятных погодных условиях и литые асфальтополимерсеробетонные смеси для ремонта покрытий автомобильных дорог».

В 2012 г. для ОАО «Калининский завод резиновых изделий», Российская Федерация, разработаны «Рекомендации о рациональных областях использования композиций ВПМ и ВПМ-ЭП».

Студенты ежегодно в соответствии с договором о сотрудничестве на паритетных основах проходят стажировку в НИУ МГСУ в период производственной практики и, как правило, посещают стройплощадку



На фото: государственная итоговая аттестация магистрантов кафедры



На фото: докт. техн. наук В.И. Братчун подписывает научно-исследовательский проект, выполненный для Китайской Народной Республики

Москва-СИТИ, заводы фирмы «Кнауф», ООО «Трансформер» и другие объекты.

Лучшие студенты специальности ежегодно выступают в Москве, на ВДНХ на конференции «Научно-техническое творчество молодежи — путь к обществу, основанному на знаниях».

В 2011 году студенты А.К. Романченко и Р.Ю. Самойлов приняли участие в международной студенческой олимпиаде «Органические вяжущие и материалы на их основе», которая состоялась в Харьковском национальном автомобильно-дорожном университете, где приняли участие также студенты Московского автомобильно-дорожного университета, Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, Национального транспортного университета, Белорусского политехнического университета, Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Разыгрывались две номинации: «Испытания дорожно-строительных материалов» и «Теоретические аспекты дорожно-строительных материалов». Руководитель команды ДонНАСА — канд. техн. наук, доцент В.Л. Беспалов. Студент В.В. Самойлов стал победителем в программе «Испытания дорожно-строительных материалов».

В период с 1980 по 2017 гг. кафедра являлась со-организатором многих международных научно-технических конференций, которые проводились в ДонНАСА. Так, в 2013 году совместно с научно-педагогическими сотрудниками кафедр физики, математики и материаловедения и технологий строительных конструкций, изделий и материалов проведена Международная научно-практическая конференция

«Актуальные проблемы физико-химического материаловедения».

В 2016 году совместно с научно-педагогическими сотрудниками кафедры «Автомобильные и железные дороги» Белгородского государственного технологического университета подготовлен макет учебника: А.М. Гридчин, В.И. Братчун, В.А. Золотарев, В.В. Ядыкина, М.К. Пактер, В.Б. Татаринский, В.Л. Беспалов. Физико-химическая механика дорожно-строительных материалов. — 367 с. Учебник будет издан через издательский центр Ассоциации строительных вузов Российской Федерации.

С Белгородским государственным технологическим университетом им. В.Г. Шухова (БГТУ) заключены два договора о сотрудничестве:

— Договор о сетевом взаимодействии в целях реализации образовательной программы 08.04.01 «Строительство» (магистерская программа «Дорожно-

строительное материаловедение»), а также программ дополнительного профессионального образования по направлению подготовки «Автомобильные дороги». В настоящее время в БГТУ им. В.Г. Шухова обучаются в магистратуре четыре студента-дорожника ДонНАСА;

— Договор № 16/4-12 о создании и деятельности совместного инжинирингового центра (сотрудничество с целью создания и деятельности совместного Научно-инжинирингового центра (НИЦ) «Инновационные технологии производства дорожно-строительных материалов для транспортного строительства».

С целью профессиональной интеграции студентов и выпускников ДонНАСА в мировое образовательное пространство специальность «Автомобильные дороги и аэродромы» аккредитована в 1999 г., повторно в 2004 г. в Международном институте инженеров-строителей (ICE, Лондон) на уровень магистра — Meng.

В 2004 году заведующий кафедрой докт. техн. наук, профессор В.И. Братчун прошёл персональную аттестацию в Международном институте инженеров-строителей с получением свидетельства Международного эксперта-аудитора Member.

Научная работа

На кафедре сформированы следующие научные направления:

— «Теоретико-экспериментальные принципы проектирования составов и структур модифици-

рованных асфальтобетонов повышенной долговечности» (докт. техн. наук, профессор В.И. Братчун, канд. техн. наук, доцент В.Л. Беспалов). В рамках направления В.Л. Беспалов за цикл работ «Теоретико-методологические основы синтеза органических вяжущих для получения долговечных материалов для дорожного строительства» в 2008 году удостоен премии Президента Украины для молодых ученых;

– «Разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты дорожно-строительных материалов» (докт. техн. наук, профессор В.И. Братчун);

– «Мониторинг технико-эксплуатационного состояния искусственных сооружений на автомобильных дорогах и разработка проектных решений по их ремонту, усилению и реконструкции» (канд. техн. наук, доценты: Д.И. Бородай, Е.А. Ромасюк, А.А. Стукалов).

По заданию корпорации «Укравтодор» разработаны и внедрены национальные стандарты Украины: ДСТУ Б В.2.7-119:2011 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дорожный и аэродромный. Технические условия»; ДСТУ Б В.2.7-135:2007 «Битумы, модифицированные полимерами. Технические условия».

Ежегодно научно-педагогические работники кафедры выполняли госбюджетные и хозяйственные научно-исследовательские работы – с 1993 по 2014 гг. выполнено 10 госбюджетных НИР на общую сумму 2 млн рублей. В 2017 году объем выполненных хозяйственных работ для 19-ти дорожно-строительных организаций Республики составил 600 тыс. рублей.

Для Департамента автомобильных дорог Минтранса ДНР разработан инновационный проект «Литые асфальтополимерсеробетонные смеси для ямочного ремонта и строительства покрытий нежёстких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности».

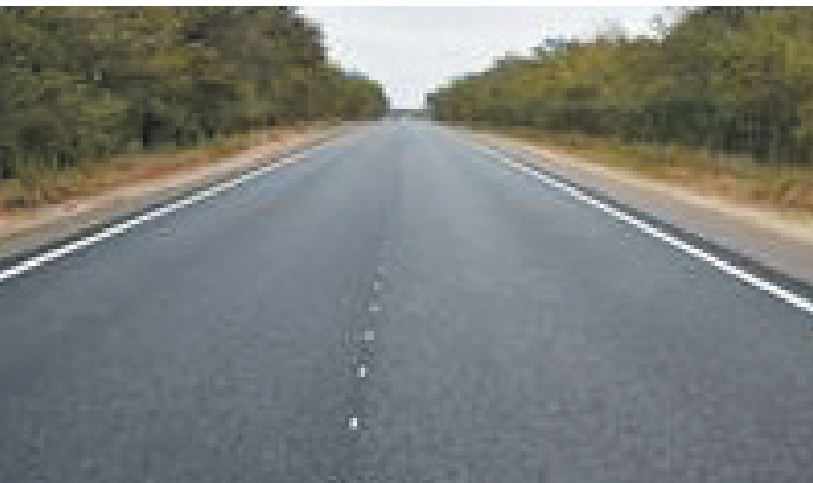
Для изучения явлений и процессов, которые происходят в модифицированных композиционных дорожно-строительных материалах, научно-педагогические работники кафедры использовали и используют современные приборы и оборудование в: институте высокомолеку-

лярных соединений и нефтехимического синтеза полимеров (Академии наук СССР); университете им. П. Лумумбы; институте физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко; Донецком физико-техническом институте им. А.А. Галкина; Донецком УкрГосНИИпластмасс; ХАДИ и других НИИ.

Научные разработки кафедры внедрены в дорожно-строительных организациях Донецкого, Запорожского и Харьковского объединений «Облавтодор», Артёмовского управления «Дорспецстрой», Донецкого треста по ремонту, строительству



На фото: Глава Республики А.В. Захарченко и докт. техн. наук, профессор В.И. Братчун обсуждают результаты разработанного инновационного проекта



*На фото: участок автомобильной дороги
«Рени—Одесса—Новоазовск—Таганрог»*

и эксплуатации автомобильных дорог и в других дорожно-строительных организациях.

Покрытие участка автомобильной дороги «Рени—Одесса—Новоазовск—Таганрог» устроено из асфальтополимербетонной смеси, состав которой, разработан на кафедре АДА.

Внедрение научных разработок позволило улучшить условия работы при производстве строительных материалов, снизить энергоёмкость производства, заменить кондиционные компоненты техногенным сырьём, в 2—3 раза повысить долговечность автомобильных дорог.

По результатам исследований опубликовано 1200 научных работ, в том числе монографии, учебные пособия, в частности учебник «Физико-химическая механика строительных материалов» (авторы: В.И. Братчун, В.А. Золотарев, М.К. Пактер, В.Л. Беспалов — Донецк: изд-во «Ноулидж», 2013. — 338 с.), который является базовым при подготовке дорожников в Украине.

Научно-исследовательские работы кафедры экспонировались на ВДНХ СССР и ВДНХ Украины и на Международных выставках в Болгарии (г. Пловдив, 1985 г.), Польше (1986 г., 2005 г.), Китае (2004 г., 2008 г.), Вьетнаме (2006 г.) и неоднократно награждены серебряными и бронзовыми медалями, дипломами.

Результаты научно-исследовательских работ опубликованы и доложены на научных конференциях в Германии, Австрии, Польше, Болгарии, Китае, России и др. странах.

С 1995 г. кафедра является ответственной за выпуск сборника научных работ «Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Современные композиционные материалы».

На кафедре функционирует испытательная лаборатория дорожно-строительных материалов, которая входит в состав Испытательного центра строительных изделий и конструкций ДонНАСА. Испытательная лаборатория создана в 1995 году, руководитель — докт. техн. наук, профессор В.И. Братчун. В состав лаборатории входят группа делопроизводства, планирования и координации работ, ведения документации и архива, группа испытаний минеральных вяжущих веществ, камней, кирпича, бетонов, бетонных и растворных смесей, группа организации испытаний асфальтобетонов, органических вяжущих, мастик и их составляющих.

Испытательная лаборатория выполняет государственные испытания строительных материалов и изделий, контрольные (арбитражные) испытания в случае возникновения конфликтной ситуации относительно качества между производителем строительных материалов и изделий и строительной организацией; массовые испытания строительных материалов и изделий по заказу производителей, покупателей и других заинтересованных организаций с целью проверки качества строительных материалов и изделий.

В 2017 году Испытательный центр строительных конструкций и материалов аккредитован Государственным предприятием «Донецкий научно-производственный центр стандартизации, метрологии и сертификации» на проведение измерений в сфере государственного метрологического надзора на период до 2020 г.

Лучшие выпускники кафедры

Выпускники кафедры на высоком профессиональном уровне работают в производственных, проектных, научно-исследовательских учреждениях, высших учебных заведениях не только в Донецкой Народной Республике, но и во многих странах мира (Россия, США, Германия, Израиль, Франция и др.).

С.В. Приходько — директор Департамента автомобильных дорог Минтранса ДНР. В разные годы руководителями Донецкого объединения «Облавтодор» являлись выпускники кафедры АДА ДонНАСА: А.М. Ставитский, В.М. Коркишко, Н.В. Демин, Е.Н. Соловьев, А.С. Воронюк; А.В. Ишутин — директор ООО «Первая дорожно-строительная компания»; В.С. Устименко — директор ООО «Данком»; Д.И. Кулиш — главный инженер ООО «Данком»; К.В. Батыль — главный инженер ТПК «Альянс»; А.Г. Панасенко — начальник Макевского управления ООО «Донецкоблдорремстрой».

Уважаемые авторы!

Планируемый к изданию 3-й номер научно-практического журнала «Строитель Донбасса» будет посвящен новациям и практическому опыту в вопросах расчета, проектирования, конструирования, создания новых конструктивных форм зданий, сооружений, их конструктивных элементов и узловых соединений. В связи с этим к рассмотрению принимаются статьи, в которых изложены результаты исследований по направлениям:

- ❖ теория расчета строительных конструкций;
- ❖ строительные конструкции зданий и сооружений (проектирование, расчет, новые конструктивные решения, узлы и соединения);
- ❖ работа материала в составе конструкции, работа материала в условиях хрупкого разрушения, при циклических воздействиях и т.п.;
- ❖ проблемы формообразования и оптимальное проектирование зданий и сооружений;
- ❖ нагрузки и воздействия на конструкции, здания и сооружения;
- ❖ экспериментальные исследования строительных конструкций (моделирование, аппаратно-инструментальное обеспечение, испытательные стенды, методика обработки результатов эксперимента);
- ❖ изготовление строительных конструкций (технологические схемы изготовления, операционное и инструментальное обеспечение, зарубежный опыт);
- ❖ монтаж строительных конструкций;
- ❖ эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений;
- ❖ надежность строительных конструкций;
- ❖ техническая диагностика и прогнозирование технического состояния конструкций;
- ❖ противокоррозионная защита и проблемы долговечности;
- ❖ стандартизация, нормирование, сертификация и обеспечение качества;
- ❖ исторические аспекты развития и применения строительных конструкций (периодизация, биографии выдающихся ученых и инженеров, характеристики крупных проектов в области применения строительных конструкций);
- ❖ проекты и опыт работы проектных организаций (описание проектируемых зданий и сооружений с применением прогрессивных конструктивных решений, конкурсные проекты, неосуществленные проекты, технология и методология проектирования зданий и сооружений).

Материалы просим направлять до 11.05.2018 г. по адресу:
86123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, ДонНАСА;
Электронная почта: mailbox@donnasa.ru; journals@donnasa.ru

При подаче материалов придерживайтесь «Требований для авторов» с целью обеспечения наиболее быстрой публикации ваших статей.

С уважением, редакционная коллегия



ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»



ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2



+38(0623) 22 -74 -71



mailbox@donnasa.org