

НАУКА и ТЕХНИКА

**Международный
научно-технический журнал**

Серия 2. СТРОИТЕЛЬСТВО

Издается с января 2002 года

Периодичность издания – один раз в два месяца

Учредитель

Белорусский национальный
технический университет

Главный редактор

Борис Михайлович Хрусталеv

Редакционная коллегия

А. С. Калиниченко (*заместитель главного редактора*),
В. В. Бабицкий, В. Г. Баштовой, А. В. Белый, В. П. Бойков,
С. В. Босаков, Ю. В. Василевич, О. Г. Девойно,
К. В. Доброго, П. И. Дячек, М. З. Згуровский (*Украина*),
Р. Б. Ивуть, М. Г. Киселев, В. М. Константинов, Я. Н. Ковалев,
В. В. Козловский, Н. В. Кулешов, С. Н. Леонович,
С. А. Маскевич, Э. И. Михневич,
Нгуен Тху Нга (*Вьетнам*), М. Опеляк (*Польша*),
О. Г. Пенязков, Г. А. Потаев, О. П. Реут, Ф. А. Романюк,
И. И. Сергей, В. Л. Соломахо, С. А. Чижик, А. Н. Чичко,
В. К. Шелег, Й. Эберхардштайнер (*Австрия*),
Б. А. Якимович (*Россия*)



Science & Technique 2/2015

**International
Science & Technique Journal**

**Series 2. CIVIL AND INDUSTRIAL
ENGINEERING**

Published since January 2002

Publication frequency – bi-monthly

Founder

Belarussian National
Technical University

Editor-in-Chief

Boris M. Khroustalev

Editorial Board

А. С. Калиниченко (*Deputy Editor-in-Chief*),
V. V. Babitsky, V. G. Bashtovoi, A. V. Belyi, V. P. Boikov,
S. V. Bosakov, Yu. V. Vasilevich, O. G. Devoyno,
K. V. Dobrego, P. I. Diachek, M. Z. Zgurovsky (*Ukraine*),
R. B. Ivut, M. G. Kiselev, V. M. Konstantinov, Ya. N. Kovalev,
V. V. Kozlovsky, N. V. Kuleshov, S. N. Leonovich,
S. A. Maskevich, E. I. Mikhnevich,
Nguyen Thuy Nga (*Vietnam*), M. Opelyak (*Poland*),
O. G. Peniazkov, G. A. Potaev, O. P. Reut, F. A. Romaniuk,
I. I. Sergei, V. L. Solomakho, S. A. Chizhik, A. N. Chichko,
V. K. Sheleg, J. Eberhardsteiner (*Austria*),
B. A. Yakimovich (*Russia*)

СОДЕРЖАНИЕ

Леонович С. Н., Ольгомец А. И., Гуринович В. Ю., Карпович С. Л.	
Основные модификации растворобетонных узлов блочно-модульной компоновки	3
Ковалев Я. Н.	
Инновационные технологии в дорожном материаловедении	9
Ляхевич Г. Д., Ляхевич А. Г., Ортнер Д. В.	
Технология и эффективность использования торфяных зол в цементобетоне	16
Осипов С. Н., Поздняков Д. А.	
Об оценке физического износа элементов технических устройств	23
Шейда О. Ю., Батыновский Э. И.	
Влияние комплексной химической добавки, содержащей структурированный углеродный наноматериал, на свойства цемента	30
Нестеренок М. С., Вексин В. Н.	
Применение электронного тахеометра для исполнительной съемки лифтовых шахт	38
Михайлов В. И., Кононович С. И., Чиберкус Ю. Н.	
Экспериментальные измерения крена башенных сооружений электронным тахеометром	42

CONTENTS

Leonovich S. N., Olgomets A. I., Gurinovich V. Yu., Karpovich S. L.	
Main Modifications of Ready Mix Concrete Stations Having Modular-Block Line-Up	3
Kovalev Ya. N.	
Innovation Technologies in Road Construction Material Science	9
Liakhevich G. D., Liakhevich A. G., Ortner D. V.	
Technology and Efficiency of Peat Ash Usage in Cement Concrete	16
Osipov S. N., Pozdniakov D. A.	
On Assessment of Physical Wear in Elements of Technical Devices	23
Sheyda O. Yu., Batyanovsky E. I.	
The Influence of the Complex Chemical Additive Containing the Structured Carbon Nanomaterial on Properties of Cement	30
Nesterionok M. S., Veksin V. N.	
Application of Electronic Tacheometer for Pre- and Post-Construction Survey of Elevator Shaft ...	38
Mikhailov V. I., Kononovich S. I., Tchiberkus Yu. N.	
Experimental Measurements of Tower Construction Tilt Using Electronic Tacheometer	42

Бекбасаров И. И., Исаков Г. И. Забивные полипрочные железобетонные сваи и новая конструкция свайного наголовника	47	Bekbasarov I. I., Isakov G. I. Driven Polystrong Reinforced Concrete Piles and New Design of Pile Caps	47
Седлухо Ю. П., Станкевич Ю. О. Исследования процесса биохимической очистки подземных вод от сероводорода	55	Sedlukho Yu. P., Stankevich Yu. O. Investigations on Biochemical Purification of Ground Water from Hydrogen Sulfide	55
Фам Нгок Киен Обоснование объемов и режимов подачи воды на орошение в зависимости от стока рек предгорных районов Вьетнама	61	Pham Ngoc Kien Substantiation of Water Delivery Volume and Mode for Irrigation Depending on River Flows in Submontane Regions of Vietnam	61
Сернов В. А. Экспериментальные исследования свайно-плитных фундаментов из коротких конических свай на строительных площадках г. Минска	66	Sernov V. A. Field Investigations of Piled-Raft Foundations With Short-Length Conic Piles in Building Areas of Minsk	66
Леонович С. Н., Ольгомец А. И., Гуринович В. Ю., Карпович С. Л. Мобильные растворобетонные установки для строительного комплекса Республики Беларусь: основные преимущества и недостатки	73	Leonovich S. N., Olgomets A. I., Gurinovich V. Yu., Karpovich S. L. Mobile Mortar Concrete Plants for Building Complex of Republic of Belarus: Advantages and Disadvantages	73
Яглов В. Н., Ковалев Я. Н., Романюк В. Н., Бурак Г. А. Безавтоклавный силикатный кирпич	79	Yaglov V. N., Kovalev Ya. N., Romaniuk V. N., Burak G. A. Non-Autoclave Silicate Brick	79

Ответственный секретарь редакции

В. Н. Гурьянчик

Executive Secretary of Editorial Staff

V. N. Guryanchyk

Адрес редакции
 Белорусский национальный технический университет,
 пр. Независимости, 65, корп. 2, комн. 327
 220013, г. Минск, Республика Беларусь

Тел. +375 17 292-65-14

E-mail: sat@bntu.by

Address
 Belarussian National Technical University
 Nezavisimosty Avenue, 65, Building 2, Room 327
 220013, Minsk, Republic of Belarus

Тел. +375 17 292-65-14

E-mail: sat@bntu.by

Перерегистрировано в Министерстве информации Республики Беларусь 19 декабря 2011 г.

Регистрационный номер 285

С 2002 г. издание выходило под названием «Вестник БНТУ»

ISSN 2227-1031. Подписные индексы 00662, 006622

Подписано в печать 30.03.2015. Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 250 экз. Дата выхода в свет . Заказ № .

 Отпечатано в БНТУ. Лицензия ЛП № 02330/74 от 03.03.2014.
 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

УДК 624.05

ОСНОВНЫЕ МОДИФИКАЦИИ РАСТВОРОБЕТОННЫХ УЗЛОВ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ КОМПОНОВКИ

*Докт. техн. наук, проф. ЛЕОНОВИЧ С. Н., асп. ОЛЬГОМЕЦ А. И.,
инженеры ГУРИНОВИЧ В. Ю., КАРПОВИЧ С. Л.*

Белорусский национальный технический университет

E-mail: sleonovich@mail.ru

Рассмотрена новая разработка БНТУ – растворобетонные комплексы блочно-модульной конструкции. Блочно-модульный принцип состоит в том, чтобы разбить всю технологическую цепочку по производству бетонных и растворных смесей на отдельные участки (модули), каждый из которых выполняет отдельные функции и может использоваться независимо от других. Далее набирают комплект таких модулей для обеспечения производства бетонов и растворов. Представлены конструкции основных модулей технологической цепочки по приготовлению бетонных смесей: бетоносмесительный модуль, модуль хранения и подачи инертных материалов, модуль хранения и подачи цемента, а также ряд дополнительных вспомогательных модулей (подачи бетона, приготовления химических добавок, операторской, подготовки и подачи воздуха).

Приведены две основные модификации растворобетонных узлов, разработанных по блочно-модульному принципу с использованием основных модулей. Одна является стационарным вариантом растворобетонного комплекса, обладающего высокой производительностью, значительными запасами инертных материалов и цемента, возможностью работы в зимний период за счет утепления и системы подогрева воды и инертных материалов. Вторая – это перебазированный вариант, позволяющий перевозить установку с места на место за счет сокращения времени монтажа и демонтажа и наладить производство бетонных смесей в непосредственной близости к объекту строительства. Это дает возможность сократить расходы на транспортирование бетона к месту укладки, а также уменьшить вероятность ухудшения потребительских свойств бетонной смеси, что в свою очередь снижает окончательную стоимость и повышает качество объекта строительства.

Ключевые слова: бетон, бетоносмесительный модуль, бетоносмесительная установка, растворобетонный узел, склад цемента, силос.

Ил. 5. Табл. 2. Библиогр.: 10 назв.

MAIN MODIFICATIONS OF READY MIX CONCRETE STATIONS HAVING MODULAR-BLOCK LINE-UP

LEONOVICH S. N., OLGOMETTS A. I., GURINOVICH V. Yu., KARPOVICH S. L.

Belarusian National Technical University

The paper considers a new BNTU development that is concrete complexes having modular-block design. The modular-block approach presupposes to divide the whole technological chain for production of concrete and mortar mixes into separate sections (modules), each of which performs specific functions and can be used separately and independently of others. Then it is necessary to select such set of modules that ensure production of concrete and mortars. The paper presents designs of main modules in the technological chain for preparation of concrete mixes: a concrete mixing module, a storage and supply module of inert materials, a storage and supply module of cement and a number of additional auxiliary modules (a concrete supply module, a module for preparation of chemical additives, an operator module and a module for preparation and supply of air).

Two main modifications of ready mix concrete stations developed on the basis of modular-block principle using basic modules are given in the paper. The first modification is a stationary concrete-mortar complex characterized by high productivity, large reserves of aggregates and cement, ability to be operated in winter due to heat insulation and water heating system and inert materials. The second modification is a transportable option that permits to transport the station from place to place due to reduction of time required for its installation and removal and execute production of concrete mixtures in the vicinity of the object construction. This options provides the possibility to reduce expenses on concrete transportation to the place of its deposit and decrease the probability of deterioration of consumer properties of the concrete mix that in its turn entails reduction in final cost of the object construction and improves quality of the construction.

Keywords: concrete, concrete module, concrete mixing plant, ready mix concrete station, cement storage, silage.

Fig. 5. Tab. 2. Ref.: 10 titles.

Введение. В зависимости от требований заказчика блочно-модульная схема дает возможность скомпоновать растворобетонные комплексы (РБК) любой конфигурации, значительно сократить расходы на транспортирование и монтаж. Сборка готовых модулей с максимальным насыщением оборудованием в условиях производства позволяет повысить качество монтажа и надежную работу оборудования, облегчает сборку и транспортирование готовых модулей.

Блочно-модульный принцип. Блочно-модульная система инвентарных бетонных заводов обеспечивает быстроту монтажных и пусконаладочных работ, резко сокращая сроки ввода. В связи с этим исходная тенденция проектирования состоит в распространении блочно-модульного принципа не только на бетонный завод, но и на все бетонное хозяйство, включая компрессорную, механические мастерские, конструкции подштабельных галерей. Каждый блок (модуль) проектируется размером с морской контейнер, что способствует его легкой перевозке любым видом транспорта. Доставка модулей к месту монтажа осуществляется с помощью самых распространенных полуприцепов – еврофур – как на открытых полуприцепах, так и на затентованных. При сборке бетонного завода блочно-модульной компоновки не используется сварка, все блоки и узлы крепятся на разъемных болтовых соединениях. Время монтажа сокращено за счет использования штепсельной коммутации электросистемы, а также фланцевых и гибких шланговых соединений трубопроводов.

Развитие блочно-модульных растворобетонных узлов (РБУ) позволяет объединить достоинства как стационарных, так и мобильных РБУ [1–10]. Данный тип оборудования, имея свою нишу, пока еще не представлен на рынке бетоносмесительных узлов в Беларуси. При правильном маркетинге возможно значительно увеличить долю блочно-модульных РБУ в общем числе установок, продаваемых на территории нашей республики. Вторым преимуществом блочно-модульной компоновки является полная комплектация отдельных модулей на заводе-изготовителе, что исключает проведение дополнительных работ по монтажу (прокладка кабелей, отопление и др.) и позволяет свести

к минимуму пусконаладочные работы. Важной является и гибкость компоновки, поскольку каждый модуль – это законченное изделие и выполняет отдельную функцию: можно скомпоновать завод необходимой конфигурации и производительности.

Основные блоки (модули), входящие в состав РБУ. В ходе разработки различных модификаций РБК блочно-модульной компоновки были выделены и разработаны отдельные универсальные модули, используемые во всех модификациях РБК.

Бетоносмесительный модуль представляет собой сварной каркас (рис. 1) $3000 \times 2500 \times 2600$ мм. Рама бетоносмесительного модуля – это сварная пространственная конструкция, которая нижней частью посредством болтового соединения крепится к каркасу, а в верхнюю часть вкручиваются три тензометрических датчика. Сверху в каждый тензодатчик вкручен опорный винт. На опорные винты опирается бетоносмеситель принудительного действия БП-1500.

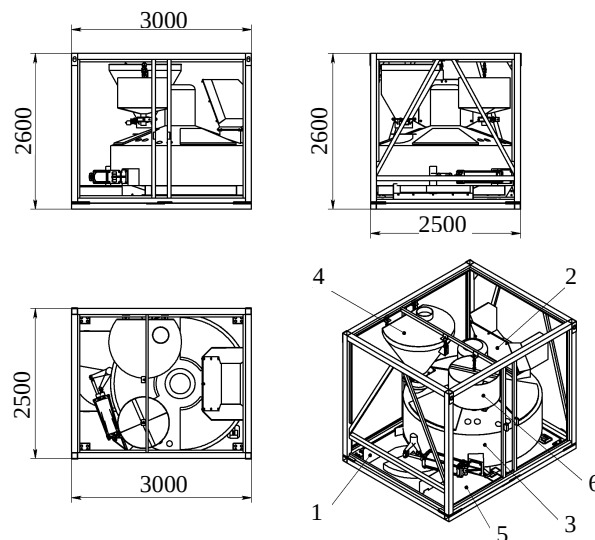


Рис. 1. Бетоносмесительный модуль:

- 1 – выгрузной лоток; 2 – загрузной лоток;
3 – бетоносмеситель; 4 – дозатор цемента; 5 – каркас;
6 – дозатор воды

Для дозирования цемента и инертных материалов предусмотрены специальные весовые дозаторы на тензодатчиках. В момент, когда дозаторы заполняются требуемым количеством цемента или инертных материалов, тензодатчики подают сигнал в общую электросистему и подача прекращается.

Модуль хранения инертных материалов представляет собой рамный каркас размерами 12000×2500×2600 мм, в котором размещены расположенные подряд три бункера инертных материалов, весовой конвейер подачи инертных материалов, кубовая емкость для хранения воды, система дозирования воды и химических добавок (ХД) (рис. 2).

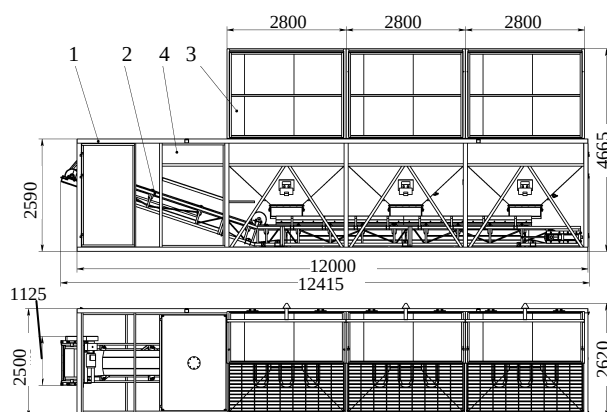


Рис. 2. Модуль хранения инертных материалов:

- 1 – рамный каркас; 2 – конвейер-дозатор;
3 – бункер инертных материалов; 4 – емкость для воды

Бункеры инертных материалов служат для хранения заполнителей различных фракций. Подача инертных материалов в бункеры осуществляется фронтальным погрузчиком. Бункеры к каркасу крепятся жестко на сварку. В зависимости от сборки бункеры могут комплектоваться решетками, крышками с ручными лебедками, модулем наращивания и регистрами обогрева. В передней части каждого бункера установлен электрический вибратор ИВ-99Б для обрушения слежавшегося материала, а под бункером – весовой ленточный конвейер, который транспортирует и дозирует песок и щебень, совместно с бетоносмесителем образует единую весоизмерительную систему.

Модуль хранения цемента. Склад цемента является технологическим оборудованием и предназначен для хранения цемента. Общий вид склада цемента приведен на рис. 3. РБК может комплектоваться складом цемента на 16 или 32 т либо емкостью на 1,5 м³ для разгрузки цемента в мешках. По требованию заказчика могут быть разработаны и изготовлены силосы цемента объемами, отличными от указанных.

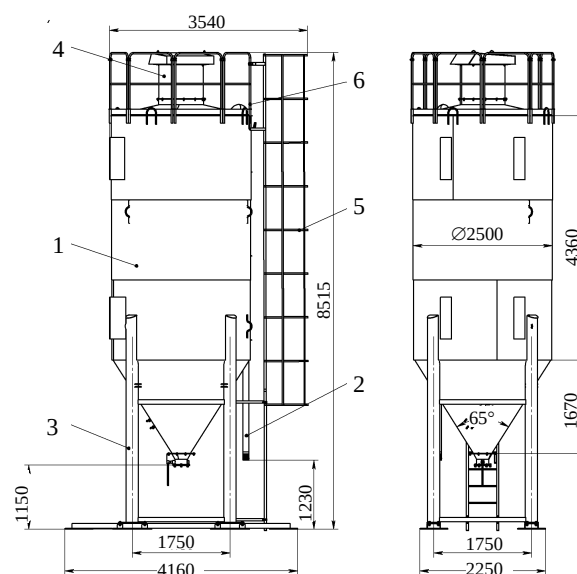


Рис. 3. Общий вид модуля хранения цемента: 1 – силос; 2 – труба задувки цемента; 3 – опорная рама силоса; 4 – фильтр; 5 – лестница; 6 – верхнее ограждение силоса

Склад цемента представляет собой металлическую емкость (силос), установленную на опорах. Снабжен системой загрузки, фильтром, затвором, лестницей, ограждениями и шнековым питателем.

Модификации РБК блочно-модульной компоновки. Стационарный вариант универсального РБК блочно-модульной компоновки – это полностью укомплектованные производства бетона с большой мощностью, которые производят смеси как для собственных нужд, так и для выдачи товарного бетона. К основным достоинствам стационарных РБК можно отнести большие объемы выпускаемых бетонных и растворных смесей. Использование на стационарном РБК больших по объему складов цемента и заполнителей позволяет не зависеть от их поставок и обеспечивать бесперебойную работу бетоносмесительной установки в течение длительного периода времени.

Недостатком стационарных РБК является сравнительно длительный срок ввода комплекса в эксплуатацию. Это связано с тем, что стационарный завод занимает значительную площадь и представляет собой капитальное строение. Это требует выполнения на должном уровне конструкторской и проектной документации. Монтаж занимает длительное время ввиду индивидуальности каждого собираемого комплекса.

С целью сокращения сроков разработки конструкторской и проектной документации, а также монтажа была разработана концепция блочно-модульной компоновки, согласно которой стационарный РБК собирается из отдельных конструктивно и функционально законченных модулей (типовых частей), которые выполняют основную технологическую цепочку по выпуску бетонорастворных смесей, могут быть дополнены отдельными нетиповыми модулями, проектируемыми под конкретные нужды заказчика. При таком варианте компоновки при серийном производстве РБК конструкторская документация разрабатывается только на нетиповые узлы, что значительно сокращает время разработки самого РБК.

Пример стационарного РБК, который выполнен по блочно-модульной схеме, приведен на рис. 4. РБК блочно-модульной компоновки данной модификации имеет габаритные размеры в плане 40,5×7,6 м, высоту по бетоносмесительному модулю 8,8 м и высоту по силосам цемента 14,9 м. Состоит РБК из четырех модулей (рис. 4). Дополнительно поставляются модуль хранения и приготовления химических добавок (как жидких, так и порошкообразных), модуль операторской.

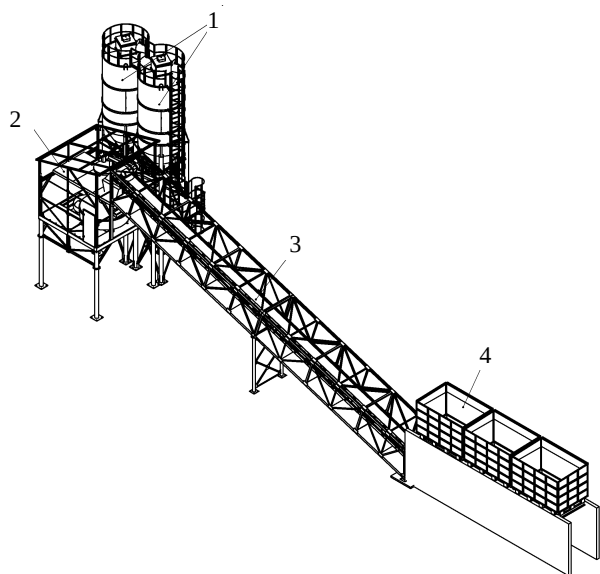


Рис. 4. Общий вид стационарного растворобетонного комплекса: 1 – модуль хранения цемента; 2 – бетоносмесительный модуль; 3 – модуль подачи инертных материалов; 4 – модуль хранения инертных материалов

Мощность РБК составляет 40 м³/ч. Установленная мощность оборудования, потребляющего электроэнергию, – 100 кВт. РБК предназна-

чен для заводов ЖБК и КПД, а также производственных баз. Основные технико-экономические показатели стационарного РБК представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технико-экономические показатели стационарного РБК

Параметр	Показатель
Производительность, м ³ /ч	40
Исполнение, тип	Блочно-модульное
Управление, тип	Автоматическое с возможностью ручного
Тип смесителя	Тарельчатый, одно-вальный БП1500
Объем по загрузке, л	1500 ± 150
Объем по выгрузке, л: бетонной растворной	1000 ± 100 1100 ± 110
Крупность заполнителя (не более), мм	70
Бункер инертных материалов, м ³	3×20
Бункер для цемента, м ³	2×26
Объем емкости для воды, м ³	1×3
Объем емкости для ХД, м ³	3×1
Предел взвешивания/погрешность, кг: инертных материалов цемента воды и ХД	2100/±2,1 600/±6 300/±3
Габаритные размеры, мм: длина ширина высота	40500 7600 14900
Общее энергопотребление, кВт	100

Представленный на рис. 4 стационарный вариант РБК блочно-модульной компоновки был разработан по заданию ГНТП для ГУ «Дирекция строительства атомной станции» на закупку технологических линий для получения товарного бетона и раствора на объекте «Объединенная пионерная производственная база строительства АЭС в г. п. Островец Гродненской обл.». Вариант перебазируемого универсального РБК предназначен для заводов ЖБК и КПД, а также производственных баз и строительных площадок для приготовления конструкционных тяжелых бетонных смесей по СТБ 1035–96 и растворных смесей по СТБ 1307–2002 различных видов и марок. РБК имеет габаритные размеры в плане 17,540×2,550 м, высоту по бетоносмеси-

Таблица 2

Технико-экономические показатели
перебазируемого РБК

Параметр	Показатель
Производительность, м ³ /ч	35
Исполнение, тип	Блочно-модульное
Управление, тип	Автоматическое с возможностью ручного
Тип смесителя	Тарельчатый, одно-вальный БП1500
Объем по загрузке, л	1500 ± 150
Объем по выгрузке, л: бетонной растворной	1000 ± 100 1100 ± 110
Крупность заполнителя (не более), мм	70
Бункер инертных материалов, м ³	3×7
Бункер для цемента, м ³	2×26
Объем емкости для воды, м ³	1×1
Объем емкости для ХД, м ³	3×1 (дополнительный модуль)
Предел взвешивания/погрешность, кг: инертных материалов цемента воды и ХД	3000/±3 600/±6 300/±3
Габаритные размеры, мм: длина ширина высота	17540 2550 8515
Напряжение питания, В	380
Общее энергопотребление, кВт	52

тельному модулю и модулю хранения инертных материалов 2,600 м и высоту по силосам цемента 8,515 м. Состоит из четырех модулей (рис. 5). Все модули данного РБК являются типовыми и аналогичны модулям из стационарной модификации за исключением модуля подачи бетонной смеси. Отличаются эти модификации отсутствием наклонной галереи подачи заполнителей, что делает данный вариант менее металлоемким и способным к перебазированию.

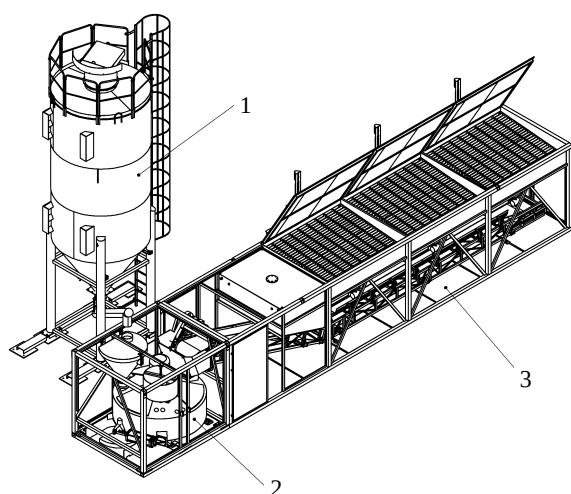


Рис. 5. Общий вид перебазируемого растворобетонного комплекса: 1 – модуль хранения цемента; 2 – бетоносмесительный модуль; 3 – модуль хранения инертных материалов

Фактическая производительность РБК по выпуску тяжелых бетонных и растворных смесей составляет 35 м³/ч. Установленная мощность оборудования, потребляющего электроэнергию, – 52 кВт. Технико-экономические показатели перебазируемого РБК приведены в табл. 2.

Достоинствами такой модификации РБК являются: меньшая по сравнению со стационарными занимаемая площадь, возможность перемещения данного узла на другой объект строительства, быстрый монтаж и демонтаж. Однако по сравнению со стационарным вариантом он имеет сниженную производительность. Данная модификация универсального РБК блочно-модульной компоновки была разработана по заданию ГНТП и внедрена на производственной базе КУП «Брестский городской ремонтно-строительный трест» и используется для приготовления тяжелых бетонных смесей и строительных растворов при температуре воздуха от минус 25 до плюс 40 °С.

Процесс приготовления бетонных смесей и строительных растворов на стационарном и перебазируемом РБК состоит из следующих основных технологических переделов:

- дозирования инертных материалов на ленточном конвейере-дозаторе;
- подачи центробежным насосом по трубопроводам ХД и воды из расходных емкостей в совмещенный дозатор;
- подачи цемента шнековым питателем в дозатор;
- подачи отдозированной части заполнителей в бетоносмеситель;
- перемешивания сырьевых компонентов и выдача готовой бетонной смеси в автобетоносмеситель (автосамосвал).

Для обеспечения бесперебойной работы РБК необходимо организовать хранение нормативного запаса сырьевых компонентов. Для хра-

нения нормативного запаса инертных материалов на стройплощадке или производственных базах организуется открытый штабельный склад, разделенный на отсеки. Для средней производительности РБК в 35 м³/ч ориентировочно необходим склад емкостью 1600 м³, общей площадью при высоте складирования заполнителей до 5 м – 400 м².

Возможны два варианта поставки и хранения цемента: поставка цемента автоцементовозами или в биг-бэгах. В первом случае РБК комплектуются расходными силосами. Обычно силосы изготавливаются габаритными (емкостью до 60 т) для транспортирования автотранспортом. Число силосов для хранения цемента, прежде всего, определяется ритмичностью поставки цемента, а также рецептурой приготавливаемых бетонных и растворных смесей. Во втором случае РБК комплектуются модулем для растарки биг-бэгов, который представляет собой емкость с системой подачи цемента в дозатор (шнековый питатель или пневмокамерный насос).

Для размещения расходных емкостей воды и ХД, а также системы воздухообеспечения исполнительных механизмов и электрошита РБК комплектуются дополнительными модулями. Автоцементовозы, доставляющие цемент, разгружаются в модуль хранения цемента по маркам. Самосвальный автотранспорт, привозящий инертные материалы, разгружается в соответствующие отсеки открытого штабельного склада по фракциям. Инертные материалы (песок, щебень) с отсеков склада в модуль РБК доставляются ковшовым автопогрузчиком.

Одним из важнейших факторов, влияющих на эксплуатационные показатели здания, его стойкость и долговечность, является качество приготовления бетонной смеси, которое, в свою очередь, зависит от точности дозирования компонентов бетонной смеси. В настоящее время законодательно закреплён способ дозирования компонентов бетонной смеси по массе, при котором необходимое количество того или иного компонента взвешивается в дозаторах, после чего попадает в бетоносмеситель. За процесс дозирования и подачи компонентов бетонной смеси отвечает система автоматического дозирования и управления (АСДУ). Программой предусмотрена возможность работы по рецеп-

там, заданным оператором и хранящимся в памяти. Также программа позволяет вручную внести корректировку в рецепт, в частности изменить количество воды с учетом влажности инертных материалов. Отдозированные компоненты бетонной смеси подаются в смеситель: песок и щебень – поочередно конвейером, цемент, вода и ХД – самотеком из дозаторов, которые расположены над смесителем. Программа АСДУ позволяет задавать время перемешивания, что необходимо для обеспечения однородности бетонной смеси.

Завершается процесс приготовления бетонной смеси выгрузкой в автобетоносмесители. Для стационарного РБК высота выгрузки является постоянной величиной, равной 4100 мм, что позволяет беспрепятственно загружать автобетоновозы. Для загрузки автосамосвалов предусмотрен поворотный лоток-удлинитель, позволяющий опустить высоту выгрузки до 2800 мм. В перебазируемом варианте РБК использован модуль подачи бетонной смеси конвейером. Высота выгрузки посредством подъемника может изменяться от 400 до 4000 мм.

ВЫВОД

Блочно-модульная концепция заключается в разработке нескольких основных функционально и конструктивно законченных модулей технологической цепочки по выпуску растворных и бетонных смесей. На основе этих базовых модулей комплектуется завод заданной конфигурации и производительности путем добавления нетиповых блоков. Конструкторская и проектная документация разрабатывается только на нетиповые модули, что значительно сокращает стоимость и время разработки растворобетонных узлов. Представленные модификации растворобетонных заводов блочно-модульной компоновки успешно внедрены на действующих производствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Афанасьев, А. А.** Бетонные работы / А. А. Афанасьев. – М.: Высш. шк., 1991. – С. 31, 56–60.
2. **Хяутин, Ю. Г.** Монолитный бетон / Ю. Г. Хяутин. – М.: Стройиздат, 1991. – С. 45–50.
3. **Гуринович, В. Ю.** Обоснование решений по комплексной реконструкции производства / В. Ю. Гуринович,

С. Н. Леонович // Вестник БНТУ: Архитектура и строительство. – 2011. – № 5. – С. 47–49.

4. **Баженов, Ю. М.** Проектирование предприятий по производству строительных материалов и изделий / Ю. М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 472 с.

5. **Стаценко, А. С.** Технология бетонных работ / А. С. Стаценко. – 2-е изд., испр. – Минск: Вышэйшая шк., 2006. – 239 с.

6. **Оборудование** для переработки сыпучих материалов / В. Я. Борщев [и др.] // Строительная наука и техника. – 2009. – № 3 (24). – С. 46–52.

7. **Леонович, С. Н.** Основные аспекты экономической эффективности мобильных растворобетонных установок / С. Н. Леонович, С. Л. Карпович // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. статей. – Гродно: ГрГУ имени Я. Купалы, 2010. – С. 325–330.

8. **Леонович, С. Н.** Способы снижения стоимости стационарных растворобетонных установок / С. Н. Леонович, С. Л. Карпович // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. статей. – Гродно: ГрГУ имени Я. Купалы. – 2010. – С. 330–333.

9. **Гуринович, В. Ю.** Перспективы приобъектного приготовления бетонных смесей с использованием мобильных растворобетонных комплексов / В. Ю. Гуринович, А. И. Ольгомец // Главный инженер в строительстве. – 2013. – № 1. – С. 22–28.

10. **Гуринович, В. Ю.** Основные модификации растворобетонных узлов блочно-модульной компоновки / В. Ю. Гуринович, А. И. Ольгомец // Главный инженер в строительстве. – 2013. – № 10. – С. 18–22.

REFERENCES

1. **Afanassiev, A. A.** (1991) *Concrete Works*. Moscow, Vysshaya Shkola, p. 31, 56–60 (in Russian).

2. **Khayutin, Yu. G.** (1991) *Cast-in-Situ Concrete*. Moscow, Stroyizdat, 45–50 (in Russian).

3. **Gurinovich, V. Yu., & Leonovich, S. N.** (2010) Substantiation of Solutions for Complex Reconstruction of Production. *Vestnik BNTU [Bulletin of the Belarusian National Technical University]*, 5, 47–49 (in Russian).

4. **Bazhenov, Yu. M.** (2005) *Designing of Enterprises for Production of Construction Materials and Items*. Moscow, ASV Publishing House. 472 p. (in Russian).

5. **Statsenko, A. S.** (2006) *Technology of Concrete Works*. 2nd Edition. Minsk, Vysheishaia Shkola. 239 p. (in Russian).

6. **Borshchev, V. Ya., Snezhkov, D. Yu., Leonovich, S. N., & Lagun, Yu. I.** (2009). Equipment for Processing of Bulk Materials. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika [Construction Science and Technology]*, 3 (24), 46–52 (in Russian).

7. **Leonovich, S. N., & Karpovich, S. L.** (2010) Main Aspects of Economic Efficiency of Mobile Concrete-Mortar Units. *Perspektivy Razvitiia Novykh Tekhnologii v Stroitel'stve i Podgotovke Inzhenernykh Kadrov. Sb. Nauch. Statei [Prospects for Development of New Technologies in Construction and Training of Engineering Personnel. Collection of Scientific Papers]*. Grodno, Grodno State University Named After Ya. Kupala, 325–330 (in Russian).

8. **Leonovich, S. N., & Karpovich, S. L.** (2010) Methods for Cost Reduction of Stationary Concrete-Mortar. *Perspektivy Razvitiia Novykh Tekhnologii v Stroitel'stve i Podgotovke Inzhenernykh Kadrov. Sb. Nauch. Statei [Prospects for Development of New Technologies in Construction and Training of Engineering Personnel. Collection of Scientific Papers]*. Grodno, Grodno State University Named After Ya. Kupala, 330–333 (in Russian).

9. **Gurinovich, V. Yu., & Olgomets, A. I.** (2013) Prospects for Preparation of Concrete Mixes in the Vicinity of an Object Under Construction While Using Mobile Mortar-Concrete Complexes. *Glavny Inzhener v Stroitel'stve [Chief Engineer in Construction]*, 1, 22–28 (in Russian).

10. **Gurinovich, V. Yu., & Olgomets, A. I.** (2013) Main Modifications of Mortar-Concrete Stations Having Modular-Block Line-Up. *Glavny Inzhener v Stroitel'stve [Chief Engineer in Construction]*, 10, 18–22 (in Russian).

Поступила 23.03.2013

УДК 625.855.3

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДОРОЖНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Докт. техн. наук, проф. КОВАЛЕВ Я. Н.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: kov-nata@mail.ru

Активационные технологии дорожно-строительных материалов, рассмотренные в едином комплексе, представляют собой новое прогрессивно развивающееся научное направление в транспортном материаловедении. Сущность активационной технологии материалов заключается в интенсивном повышении физико-химической активности их

компонентов на границах раздела фаз, что реализуется в различных технологических переделах. Установлено, что все материалы, независимо от их природы и агрегатного состояния, являющиеся в нормальных условиях химически пассивными, при определенных режимах обработки могут стать химически активными. Это позволяет использовать малоактивное дешевое кремнеземистое сырье и техногенные отходы производства для создания на их основе прочных композиционных материалов.

Развитие активационных технологий твердо- и жидкофазных компонентов дорожных композиционных материалов постепенно трансформируется в специальную часть материаловедческой науки – капрологию. Последняя призвана разрабатывать теорию и решать прикладные задачи, направленные на эффективное использование техногенных отходов производства в качестве дешевых источников сырья для получения широкого ассортимента строительных материалов общего и специального назначений. Дальнейшая задача исследований заключается в техническом совершенствовании и разработке технологического оборудования для активации твердых, жидких и газообразных компонентов дорожных композиционных материалов. При этом все технологические решения должны быть подчинены общей цели – достижению оптимальных структур получаемых материалов, обеспечивающих их долговечность при минимальных ресурсных затратах и максимальной охране окружающей среды.

Ключевые слова: межфазные контакты, битумоминеральные системы, активация, энергия связи.

Библиогр.: 16 назв.

INNOVATION TECHNOLOGIES IN ROAD CONSTRUCTION MATERIAL SCIENCE

KOVALEV Ya. N.

Belarusian National Technical University

Activation technologies of road construction materials considered in a single package represent an up-to-date progressively developing scientific and research direction in the transport material science. The essence of the activation technology for materials lies in an intensive increase of physical and chemical activity of their components in the interphase boundaries that is realized in various technological conversions. It has been established that being chemically passive under normal conditions all the materials, irrespective of their nature and aggregate state, can be chemically active under specific conditions. Such approach makes it possible to use low-active cheap silica raw material and technogenic production wastes for creation of strong composite materials on their basis.

Development of the activation technologies for solid- and liquid –phase components of road construction composite materials is gradually transformed in a special branch of material science that is coprology. The branch is presupposed to develop a theory and solve applied problems directed on efficient usage of technogenic production wastes as cheap raw material source for obtaining a wide range of construction materials for general and special application. Further investigation is to execute a technical modernization and develop technological equipment for activation of solid, liquid and gaseous components of road construction composite materials. In this respect all technological solutions should serve for general purpose that is to ensure optimum structures of the obtained materials that provides their longevity with minimum resource expenses and maximum level of environmental protection.

Keywords: interphase contacts, bitumen-mineral systems, activation, bond energy.

Ref.: 16 titles.

Основную материаловедческую проблему связывают два противоречивых требования: качество (К) дорожно-строительных материалов (прочность и долговечность) должно быть максимальным, а стоимость (С) – минимальной: $C_{\min} \rightarrow \leftarrow K_{\max}$. Практически разрешению этого противоречия в дорожном материаловедении и посвящены вся существующая наука и ее технические приложения в этой области. В статье затронуты лишь отдельные фрагменты указанной проблемы. Прежде всего следует отметить, что и первое, и второе требования тесно связаны с технологическим аспектом до-

рожного материаловедения и его научным сопровождением.

Дорожное материаловедение является фундаментом технического прогресса в дорожной отрасли. В научном плане оно базируется на положениях фундаментальной науки: физики твердого тела, физической и коллоидной химии, реологии и механики разрушения композиционных материалов, работающих в сложных эксплуатационных режимах. При этом исследование поверхностных явлений на границе раздела фаз требует проникновения в микромир контактной зоны, изучаемой на атомно-молеку-

лярном уровне [1]. И это не «экзотика» (как полагают некоторые) методологического подхода, а реальная потребность поставить исследования дорожно-строительных материалов на более высокий уровень науки и техники. Указанное требование исторически оправдано. Пройден длительный эволюционный путь развития дорожного материаловедения, зависящего напрямую от экономического базиса, когда и уровень техники был низким, и доминирующим фактором являлось количество, а не качество. Так, с 1930-х гг. в течение многих лет в технологии приготовления асфальтобетонных смесей использовали смесители свободного перемешивания (типа Г-1), которые не могли дать качественного перемешивания компонентов. В настоящее время на современных АБЗ работают смесители с динамическим перемешиванием и аэрозольным вводом вяжущего (фирма Vibau), а технологический цикл почти полностью автоматизирован. И хотя существующий уровень технологии АБЗ кажется многим самодостаточным, с точки зрения научного видения проблемы он не является пока совершенным, поскольку не гарантирует высокого качества смеси в сочетании с низкой себестоимостью. По мнению автора, сейчас не хватает прорывных технологических решений, позволяющих не только готовить качественные и низкостойкие полуфабрикаты, но и строить дороги с применением новых сборных конструктивных элементов дорожных одежд, изготовленных по современным технологиям в стационарных условиях [2].

Поскольку дорожное строительство требует значительных материальных и энергетических затрат, на первый план также выдвигается проблема ресурсосбережения. Она должна стать главной при осуществлении любой программы снижения себестоимости применительно к любому виду дорожно-строительной продукции. Решение проблемы ресурсосбережения в дорожной отрасли может идти двумя путями: первый основан на поиске резервов (совершенствовании) традиционных технологий, второй реализуется на основе разработки и внедрения принципиально новых (прорывных) технологий [3, 4]. Как известно, весьма прогрессивным научным направлением в современном материаловедении является нанотехнология,

которая предложена, прежде всего, для получения металлических и полимерных материалов и изделий. Эта технология декларируется как современное направление при получении конструкционных материалов с минимумом микронеоднородностей и приближающим реальную прочность инженерных изделий к теоретической прочности. Из таких целевых установок родился в свое время знаменитый принцип академика П. А. Ребиндера: «Путь к высшей прочности материалов – через их разрушение» [5, 6]. Метод предполагает разрушение естественно-природной структуры материала, устранение микронеоднородностей при тонком диспергировании и последующее создание из полученного вещества нового материала интегрированной бездефектной структуры. По такому пути пошла порошковая металлургия и дезинтеграторная технология [7]. Академиком П. А. Ребиндером показано, что появление в структуре реальных тел микронеоднородностей различных типов, стимулирующих разрушение материалов даже при пониженных напряжениях, во многом связано с несовершенством проектирования составов и технологии. Профессор Н. Б. Урьев также отмечает, что одной из доминирующих причин значительного различия (часто на несколько порядков) в свойствах бездефектных твердых тел и реальных материалов является несовершенство технологических процессов получения последних [8]. Это относится, прежде всего, к процессам, которые включают операции измельчения, обработки поверхности частиц исходных компонентов, смешения их с вяжущими (гомогенизация), транспортирования и уплотнения смесей. Поэтому вопросам оптимизации технологии производства материалов с минимумом структурных неоднородностей придается огромное значение технологами-исследователями во всем мире. Теоретическое объяснение образования дефектности, образующейся на технологической стадии, сейчас найдено. Оно заключается в следующем.

Появление микронеоднородностей в структуре готовых материалов (в рассматриваемом случае асфальто- и цементобетонов) – следствие проявления определенных особенностей в структуре высококонцентрированных дисперсных систем (смесей) на стадии их приготовления. Основные структурные особенности

этих систем проявляются при сочетании сильно развитой межфазной поверхности S и большой концентрации твердой дисперсной фазы D в жидкой дисперсионной среде небольшого объема. Главное следствие такого сочетания S и D выражается в том, что в концентрированных системах самопроизвольно возникают термодинамически устойчивые пространственные микроструктуры (кластеры), образуемые за счет сцепления мельчайших частиц дисперсных фаз между собой [9]. Для получения однородных структур с минимумом микронеоднородностей необходимо точно определять соотношение между потенциальной энергией взаимодействия (сцепления) разнофазных частиц и кинетической энергией, передаваемой этим частицам в процессе технологического передела (например, смешения с вяжущим) [8].

При создании прочных бездефектных структур дорожных бетонов необходимо, чтобы технология получения таких материалов обеспечивала:

- 1) максимально возможное межфазное сцепление структурных компонентов;
- 2) равномерное распределение твердой фазы в дисперсионной среде, объем которой всегда несравненно меньше, чем объем твердой фазы.

Исходя из вышеизложенных положений, общими проблемными задачами, определяющими дальнейший технический прогресс в технологии производства дорожно-строительных композиционных материалов, можно считать [3]:

- 1) увеличение физико-химической поверхностной активности взаимодействующих фаз на границе их раздела;
- 2) достижение максимальной однородности (однородности) перерабатываемых смесей, особенно при смешении и уплотнении многокомпонентных систем;
- 3) соблюдение принципа минимальной энергоемкости всех технологических процессов и в особенности сокращения продолжительности тепловых процессов при подготовке органических вяжущих с целью уменьшения их старения.

Решение перечисленных выше трех задач вполне достижимо с помощью современных технических средств, и это подтверждает исторический опыт в области технологии получе-

ния материалов. Действительно, на протяжении 200 лет в области технологий были известны и использовались в основном три классических приема:

- 1) механическое и химическое диспергирование (измельчение, растворение) исходных материалов;
- 2) изменение температуры и давления;
- 3) применение различных катализаторов, ускоряющих физико-химические процессы.

Только сравнительно недавно (30–40 лет тому назад) появился не менее важный новый технологический прием – активация жидких и твердофазных материалов, резко усиливающая их адгезионное взаимодействие на хемосорбционном уровне.

Исследования показали [3], что для любых композиционных материалов применим следующий принцип обеспечения их прочности:

$$E_{\text{стр}} > E_{\text{в.с}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{стр}}$ – энергия связи структурных компонентов композиционного материала (на границе раздела фаз); $E_{\text{в.с}}$ – то же факторов внешней среды (механические транспортные нагрузки и погодноклиматическое воздействие).

При этом технологическое обеспечение неравенства (1) должно соотноситься с экономическим принципом, т. е. $E_{\text{стр}} \equiv E_{\text{ак}}$, где $E_{\text{ак}}$ – энергия, затрачиваемая на активацию компонентов дорожно-строительных материалов. Она должна корреспондироваться с требуемой структурной прочностью композита $E_{\text{стр}}$. Из (1) следует, что надежная работа дорожного покрытия возможна лишь при наличии у его материала некоторого запаса энергии структурных связей, т. е. если $E_{\text{стр}} - E_{\text{в.с}} = +\Delta E$. Исходя из этого можно считать, что в случае, если $\Delta E \geq 0$, активация компонентов предпочтительна, но не обязательна, а если $\Delta E < 0$, то она необходима. В зависимости от эксплуатационного режима работы инженерной конструкции, где используются традиционные бетоны или другие композиты, следует установить не только необходимость проведения активации компонентов тех или иных материалов, но и точное значение величины ΔE , определяющей вид и энергоемкость активационных процессов.

Промышленное освоение методов активации строительных материалов стало возмож-

ным благодаря ряду теоретических и экспериментальных работ, выполненных различными отечественными и зарубежными исследователями (Е. Г. Аввакумов, П. Ю. Бутягин, Л. Б. Гезенцев, В. А. Золотарев, В. А. Каргин, Я. Н. Ковалев, И. А. Рыбьев, В. И. Соломатов, Н. Б. Урьев, Г. Хайнике, И. А. Хинт, Г. Джоуст и др.) [10–13].

Теоретическим фундаментом активационных технологий является физико-химическая механика дисперсных материалов, на основе теоретических положений которой в БНТУ сформировалось новое научное направление в дорожном материаловедении – «Физико-химические основы активации твердо- и жидкофазных компонентов дорожных строительных материалов и создание эффективных технологий для их получения» [3]. При этом ядро активационных технологий – это электрон-ионная технология, которая базируется на ряде известных физических явлений: электрогидравлическом, трибоэлектрическом и эффекте вихревого слоя.

Такой (первый) путь повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли открывает принципиально новые перспективы использования некондиционного минерального (кремнеземистого) сырья и различных техногенных отходов промышленности. При этом резко сокращается стоимость конечной дорожно-строительной продукции как за счет снижения транспортных расходов, так и за счет сравнительно низких затрат при использовании местных или утилизированных материалов по сравнению с затратами на приобретение новых, дефицитных.

Вторым, не менее важным путем энергосбережения, являются анализ и реструктуризация теплоэнергетического хозяйства производственных предприятий дорожной отрасли, где используется теплоэнергетическая технология при производстве смесей (АБЗ) или прогрев готовых конструкций (заводы бетонных и железобетонных конструкций и полигоны).

Третьим, перспективным и совершенно новым (прорывным), является путь автономного круглогодичного приготовления асфальтовяжущего вещества на отдельных цехах и его доставки на АБЗ по мере потребности в выпуске асфальтобетонных смесей заданного объема. Это позволит исключить из состава АБЗ сложное энергетическое хозяйство для приема, хра-

нения и подготовки битумов при их подаче к смесителю, а также сложное складское хозяйство для минерального порошка. Полученные предварительные результаты по капсулированию битумов (БНТУ) и гранулированию асфальтовяжущего вещества (БНТУ, БелдорНИИ) показали перспективность таких разработок [14, 15].

Повышение качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли должно быть основано на более расширенном использовании результатов фундаментальных наук. Представления о необходимости применять результаты фундаментальных наук при решении инженерных задач менялись на протяжении десятилетий и в различных областях прикладных дисциплин были востребованы по-разному и не всегда адекватно. Например, в 1962 г. число ученых, работающих в области физики твердого тела и информационной технологии применительно к материальному производству, составляло всего несколько сотен человек во всем мире. Сегодня данные дисциплины оказывают решающее влияние на развитие многих отраслей науки и техники, а число ученых, работающих в этих областях науки, составляет десятки тысяч человек. Чем же объяснить подобный феномен? В известной мере на этот вопрос можно получить ответ, пользуясь представлениями лауреата Нобелевской премии И. Пригожина – выдающегося ученого в области физики неравновесных процессов [16]. По его теории, любая изучаемая система движется по определенной траектории развития, на которой появляются особые точки (бифуркации), где траектория в силу неравновесности разделяется на ветви. Причем все ветви теоретически равновозможны, но только одна из них, в силу объективных или субъективных причин, будет реализована на практике, т. е. станет доминирующей в данный момент времени. Нечто подобное можно проследить при анализе развития технологии получения дорожных и других композиционных материалов.

Действительно, вначале все минеральные материалы, используемые в бетонах, считались инертными, и только сравнительно недавно, в 1960-е гг., было показано, что путем специальной механохимической обработки заполнители начинают играть чрезвычайно активную

структурирующую роль в композитах, повышая их прочность и долговечность в несколько раз. В природе все осреднено, и флуктуации (случайные отклонения физических величин от средних статистических), наблюдаемые при исследованиях на микроскопическом уровне, ответственны за выбор той ветви, которая возникает в точке бифуркации (по И. Пригожину), т. е. в точке причинного отклонения события от общепринятых представлений. Именно точки бифуркаций определяют на временной шкале траектории развития то событие, которое накопило критические потенциальные возможности и которое обязательно произойдет, ожидая лишь «созревшие» для этого условия реализации. Рассматривая эволюционный путь развития технологий строительных материалов с позиции неравновесных процессов, можно утверждать, что точки бифуркаций являются одновременно показателями (своеобразным барометром) нестабильности и жизненности какого-либо явления: в данном случае – рождающейся новой технологии.

Как показывает мировой опыт, фундаментальные разработки являются приоритетными, поскольку здесь возникает возможность прорыва в новые технологические области. Такой подход особенно актуален, когда нужно экономить во всем, но держать марку качества. Применительно к решению проблем дорожного материаловедения роль фундаментальных наук должна быть переосмыслена по-новому. Однако необходимо учитывать, что их уровень определяется уровнем квалификации кадров, занятых в технологических областях. Именно поэтому стремление повысить качество и энергосбережение в дорожной отрасли должно стимулировать подготовку научных и инженерных кадров высокой квалификации, способных создавать и реализовывать новые эффективные технологии.

В заключение можно отметить следующее. Решение проблем дорожного материаловедения непосредственно связано с уровнем использования положений фундаментальных наук. Такое содружество является основой прорывных технологий, повышающих одновременно качество продукции и ресурсосбережение. Именно такая концепция должна стать ведущей

идеологией теоретических и прикладных исследований в дорожном материаловедении в XXI ст.

Дальнейшая задача исследований заключается в техническом совершенствовании и разработке технологического оборудования для активации твердых, жидких и газообразных компонентов дорожных композиционных материалов. При этом все технологические решения должны быть подчинены общей цели – достижению оптимальных структур получаемых материалов, обеспечивающих их долговечность при минимальных ресурсных затратах и максимальной охране окружающей среды.

ВЫВОД

В зависимости от эксплуатационного режима работы инженерной конструкции, где используются дорожные композиты, нужно расчетом обосновывать необходимость проведения активации тех или иных их компонентов. Основа применяемых при этом активационных технологий – это электронно-ионная технология, базирующаяся на ряде известных физических явлений: электрогидравлическом, трибоэлектрическом эффектах и эффекте вихревого слоя. Такой путь открывает принципиально новые перспективы использования техногенных отходов производства в качестве дешевых источников сырья для получения широкого ассортимента строительных материалов общего и специального назначений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев, Я. Н. Межфазные контакты в битумоминеральных системах и их усиление / Я. Н. Ковалев // Наука и техника. – 2014. – № 5. – С. 3–9.
2. Давыдов, В. Н. Изготовление изделий из асфальтобетонных смесей: учеб. пособие / В. Н. Давыдов. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 208 с.
3. Ковалев, Я. Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов / Я. Н. Ковалев. – Минск: БелЭн, 2002. – 336 с.
4. Витязь, П. А. Высокие технологии и наноматериалы в строительной индустрии / П. А. Витязь, В. Г. Горбцов // Строительная наука и техника. – 2009. – № 6. – С. 4–16.
5. Ребиндер, П. А. Физико-химическая механика / П. А. Ребиндер. – М.: Знание, 1958. – 64 с.

6. Физико-химическая механика дисперсных структур: сб. статей / Академия наук СССР; отв. ред. П. А. Ребиндер. – М.: Наука, 1966. – С. 3–16.

7. Хинт, П. А. Основы производства силикалитных изделий / И. А. Хинт. – Л.: Госстройиздат, 1962. – 256 с.

8. Урьев, Н. Б. Высококонцентрированные дисперсные системы / Н. Б. Урьев. – М.: Химия, 1980. – 319 с.

9. Соломатов, В. И. Физические особенности формирования структуры композиционных материалов / В. И. Соломатов, В. Н. Выровой // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1984. – № 8. – С. 59–64.

10. Аввакумов, Е. Г. Механические методы активации химических процессов / Е. Г. Аввакумов. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1979. – 304 с.

11. Бутягин, П. Ю. Исследования элементарных процессов при механо-химических превращениях в полимерах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / П. Ю. Бутягин. – М., 1966. – 20 с.

12. Хайнике, Г. Трибохимия / Г. Хайнике. – М.: Мир, 1987. – 582 с.

13. Гезенцвей, Л. Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов / Л. Б. Гезенцвей. – М.: Стройиздат, 1971. – 255 с.

14. Жуковин, М. Г. Гранулированное асфальто вяжущее для горячих асфальтобетонных смесей / М. Г. Жуковин // Автомобильные дороги и мосты. – 2006. – № 1. – С. 47–49.

15. Ковалев, Я. Н. Модификация битума полиэтиленовой оболочкой и технология производства асфальтобетона на его основе / Я. Н. Ковалев, В. Н. Романюк // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2008. – Вып. 40. – С. 45–47.

16. Гленсдорф, П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации / П. Гленсдорф, И. Пригожин. – М.: Мир, 1973. – 280 с.

REFERENCES

1. Kovalev, Ya. N. (2014) Interphase Contacts in Bitumen-Mineral Systems and Their Strengthening. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], 5, 3–9 (in Russian).

2. Davydov, V. N. (2003) *Fabrication of Road-Concrete Mix Products*. Moscow, ASV Publishing House. 208 p. (in Russian).

3. Kovalev, Ya. N. (2002) *Activation Technologies for Road Construction Composite Materials*. Minsk: Bel-En [Belarusian Encyclopedia Publishing House]. 336 p. (in Russian).

4. Vityaz, P. A., & Gorobtsov, V. G. (2009) High Technologies and Nano-Materials in Construction Industry.

Stroitel'naya Nauka i Tekhnika [Construction Science and Equipment], 6, 4–16 (in Russian).

5. Rebinder, P. A. (1958) *Physical and Chemical Mechanics*. Moscow, Znanie. 64 p. (in Russian).

6. Rebinder, P. A. (1966) *Physical and Chemical Mechanics of Dispersive Structures. Collection of Papers*. Moscow, Nauka, 3–16 (in Russian).

7. Hint, I. A. (1962) *Principles for Fabrication of Sili-Calcite Products*. Leningrad, Gosstroyizdat. 256 p. (in Russian).

8. Uriev, N. B. (1980) *Highly-Concentrated Disperse Systems*. Moscow, Khimia. 319 p. (in Russian).

9. Solomатов, V. I., & Vyrovoy, V. N. (1984) Physical Peculiarities of Composite Material Structure Formation. *Izvestia Vuzov. Stroitel'stvo i Arkhitektura* [News of Higher Education Institutions. Construction and Architecture], 8, 59–64 (in Russian).

10. Avvakumov, E. G. (1979) *Mechanical Methods for Activation of Chemical Processes*. Novosibirsk, Nauka, Siberian Branch. 304 p. (in Russian).

11. Butiagin, P. Yu. (1966) *Issledovaniia Elementarnykh Protseessov pri Mekhano-Khimicheskikh Prevrashcheniakh v Polimerakh*. Avtoref. Dis. Doktora Tekh. Nauk [Investigation of Elementary Processes in Mechanical and Chemical Polymer Transformations. Author's Abstract of Dissertation for Doctor of Science [Engineering]]. Moscow. 20 p. (in Russian).

12. Heinicke, G. (1984) *Tribochemistry*. Berlin, Academy-Verlag. (Russ. ed.: Heinicke, G. (1987). *Tribokhimiia*. Moscow, Mir. 582 p.).

13. Gezentsvei, L. B. (1971) *Asphalt Concrete from Activated Mineral Materials*. Moscow, Stroyizdat. 255 p. (in Russian).

14. Zhukovin, M. G. (2006) Granulated Asphalt Binder for Hot Asphalt-Concrete Mixes. *Avtomobilnie Dorogi i Mosty* [Automobile Highways and Bridges], 1, 47–49 (in Russian).

15. Kovalev, Ya. N., & Romaniuk, V. N. (2008) Bitumen Modification with Polyethylene Coating and Technology for Fabrication of Asphalt Concrete on its Basis. *Vestnik Khar'kovskogo Natsional'nogo Avtomobil'no-Dorozhnogo Universiteta*. [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University]. Kharkov, 40, 45–47 (in Russian).

16. Glensdorf, P., & Prigozhin, I. (1971) *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations*. New York, Wiley-Interscience. (Russ. ed.: Glensdorf, P., & Prigozhin, I. (1973) *Termodinamicheskaia Teoriia Struktury, Ustoichivosti i Fluktuatsii*. Moscow, Mir. 280 p.).

Поступила 30.12.2014

ТЕХНОЛОГИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ ЗОЛ В ЦЕМЕНТОБЕТОНЕ

*Докт. техн. наук, проф. ЛЯХЕВИЧ Г. Д., канд. экон. наук, доц. ЛЯХЕВИЧ А. Г.,
асп. ОРТНЕР Д. В.*

Белорусский национальный технический университет

E-mail: lfidi@hotmail.com

Одним из основных путей улучшения физико-механических свойств цементобетона является введение в бетонную смесь зол от сжигания твердого топлива. Бетонные смеси с золами обладают большей связностью, меньшим водоотделением и расслоением. Бетон имеет при этом большую прочность, плотность, водонепроницаемость, стойкость к сульфатной коррозии. Изучены возможность использования торфяных зол и шлака торфяных предприятий Республики Беларусь в бетоне с улучшением его физико-механических свойств, а также характеристики торфяных зол, шлака, микрокремнезема, цемента, суперпластификатора. Разработаны составы, технология приготовления бетонных смесей, изготовлены и испытаны образцы бетонов. Показано, что бетоны, содержащие золу, шлак, полученные от сжигания торфа на промышленных установках Усяжского и Лидского ТБЗ, а также микрокремнезем МК-85 и суперпластификатор НСПКСАУсФ-1, имеют предел прочности бетона при осевом сжатии 78–134 МПа, а для контрольного состава – 53 МПа. Данный показатель в 1,5–2,5 раза больше, чем для образца, не содержащего добавки.

Использование торфяных зол и шлака совместно с МК-85 и НСПКСАУсФ-1 для производства бетонных и железобетонных конструкций мостов и тоннелей обеспечит следующие преимущества: уменьшение поперечного сечения конструкций при сохранении их несущей способности благодаря более высокому значению предела прочности при осевом сжатии; более высокие плотность, водо- и газонепроницаемость за счет низкого водоцементного отношения; повышенную стойкость к агрессивной окружающей среде за счет более низкого содержания капиллярных пор, что и обеспечит долговечность мостовых конструкций; достижение экологического и социального эффектов.

Ключевые слова: торфяная зола, шлак, смеси, цементобетон, физико-механические свойства, эффективность использования, бетонные и железобетонные конструкции.

Табл. 5. Библиогр.: 44 назв.

TECHNOLOGY AND EFFICIENCY OF PEAT ASH USAGE IN CEMENT CONCRETE

LIAKHEVICH G. D., LIAKHEVICH A. G., ORTNER D. V.

Belarusian National Technical University

One of the main ways to improve physical and mechanical properties of cement concrete is an introduction of ash obtained due to burning of fossil fuels into concrete mix. The concrete mixes with ash are characterized by high cohesion, less water gain and disintegration. At the same time the concrete has high strength, density, water resistance, resistance to sulfate corrosion. The aim of this paper is to explore the possibility to use peat ash and slag of peat enterprises of the Republic of Belarus in the concrete for improvement of its physical and mechanical properties and characteristics of peat ash, slag, micro-silica, cement, superplasticizing agent. Compositions and technology for preparation of concrete mixes have been developed and concrete samples have been fabricated and tested in the paper. It has been shown that the concrete containing ash, slag obtained due to burning of peat in the industrial installations of the Usiazhsky and Lidsky Peat Briquette Plants and also MK-85-grade micro-silica NSPKSAUsF-1-grade superplasticizing agent have concrete tensile strength within 78–134 MPa under axial compression and 53 MPa – for the control composition. This index is 1.5–2.5 times more than for the sample containing no additives.

The usage of peat ash, slag together with MK-85-grade micro-silica and NSPKSAUsF-1-grade superplasticizing agent for fabrication of concrete and reinforced bridge and tunnel structures will provide the following advantages: reduction of cross-sectional area of structures while maintaining their bearing capacity due to higher value of tensile strength in case of axial compression; higher density, water- and gas tightness due to low water cement ratio; high resistance to aggressive environment due to lower content of capillary pores that ensures bridge structure longevity; achievement of environmental and social impacts.

Keywords: peat ash, slag, mixes, cement concrete, physical and mechanical properties, efficiency of usage, concrete and reinforced structures.

Tab. 5. Ref.: 44 titles.

Введение. Прогноз развития промышленности бетона предусматривает сохранение его в качестве основного строительного материала. Разрушение бетона в сооружениях, особенно при воздействии агрессивных сред, часто начинается через 20–30 лет их эксплуатации, хотя проектируемая долговечность сооружений должна превышать 50 лет. Одним из основных путей улучшения физико-механических свойств цементобетона является введение в бетонную смесь зол от сжигания твердого топлива. Бетонные смеси с золами обладают большей связностью, меньшим водоотделением и расслоением. Бетон имеет при этом большие прочность, плотность, водонепроницаемость, стойкость к сульфатной коррозии. Существенный вклад в технологию использования зол в бетонных смесях, в механизм взаимодействия высокодисперсных наполнителей – зол с цементным камнем, – в установление роли и влияния зол на физико-механические свойства бетона внесли ученые и практики И. А. Рыбьев, А. В. Волженский, В. В. Бабков, И. Ш. Каримов, В. С. Рамачандран, А. Г. Ольгинский, С. С. Каприелов, Ж. А. Ларби, Л. Опоски, Ж. М. Бижен, В. К. Власов, Ю. С. Буров, В. Е. Крекшин, И. М. Красный, М. С. Шендипа, В. А. Выров, А. Г. Комар, А. Г. Зоткин, И. Ю. Данилович, Е. Е. Бери, В. М. Мальхотра, Ю. М. Баженов, К. В. Михайлов, И. А. Иванов, В. С. Колокольников, В. В. Костин, В. И. Соломатов, Н. Б. Урьев, С. И. Павленко, В. М. Селиванов, А. Т. Логвиненко, М. А. Савинкина, Г. И. Овчаренко, Л. Г. Плотникова, В. Б. Францен, В. И. Соломатов, М. Ю. Лещинский, Б. М. Галлеев, В. М. Масютин, П. Г. Комохов, Н. М. Владимирова, Л. Н. Попов, В. Ш. Каланадзе, С. А. Высоцкий, Ю. П. Рябошапка, Г. С. Меренцова, В. В. Стольников и др. [1–43].

По современным представлениям, прочность бетонов с добавкой золы зависит от толщины затронутого химическими процессами поверхностного слоя золы частицы. Положительному влиянию золы на структурообразование бетона способствует эффект мелких порошков, расширяющих свободное пространство, в котором осаждаются продукты гидратации, что ускоряет процесс твердения цемента. Микронаполняющий эффект проявляется при увеличении объемной концентрации тонкодис-

персного наполнителя, приводящей к снижению пористости цементного камня в бетоне. Факторы положительного влияния высокодисперсной золы и микрокремнезема на структуру и физико-механические характеристики цементных композиций таковы: снижение общей пористости цементного камня в бетоне при увеличении объемной концентрации и дисперсности наполнителя; повышение пуццоланической активности наполнителя при его тонком измельчении; ускорение начальной стадии химического твердения цементных систем с частицами наполнителя, служащими центрами кристаллизации; образование кластеров «вяжущее – наполнитель» за счет высокой поверхностной энергии частиц наполнителя; упрочнение контактной зоны между цементным камнем и заполнителями в бетонах.

Существует много составов бетонов, содержащих в качестве добавок различные золы. Качественные, экологические и экономические показатели, а также энергоемкость их производства не соответствуют современным требованиям. А это диктует необходимость создания новых составов и технологий для приготовления бетонов с показателями, превосходящими известные. Выбор оптимального состава цементобетона при использовании зол от сжигания твердого топлива и других добавок требует научного исследования бетона и экспериментальной проверки его качества.

Цель исследования – определить возможность использования торфяных зол и шлака в бетоне с улучшением его физико-механических свойств. Задачи исследования – изучить характеристики торфяных зол, шлака, микрокремнезема, цемента, суперпластификатора, бетонных смесей. Разработать составы, технологию приготовления бетонных смесей, изготовить и испытать образцы бетонов. Показать эффективность использования торфяных зол, шлаков совместно с другими добавками для производства бетонных и железобетонных конструкций мостового и тоннельного строительства.

Характеристика и активность зол и шлаков, полученных при сжигании торфа на промышленных предприятиях Беларуси. Физико-химическая характеристика торфяных зол и шлака. Строение и состав зол зависят от

целого комплекса одновременно действующих факторов: вида и морфологических особенностей сжигаемого топлива, тонкости помола в процессе его подготовки, зольности топлива, химического состава его минеральной части, температуры в зоне горения, времени пребывания частиц в этой зоне и др. Промышленные образцы зол и шлака, полученные на Усяжском и Лидском ТБЗ, подсушивали при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, подвергали помолу в шаровой мельнице, а затем испытывали. Результаты испытаний физико-химических свойств торфяных зол и шлака представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Физические свойства зол и шлака

Физическое свойство	Показатель золы и шлака, отобранных с промышленных предприятий Беларуси		
	Зола Усяжского ТБЗ	Зола Лидского ТБЗ	Шлак Лидского ТБЗ
Средняя плотность, кг/м^3	2201	2246	2183
Насыпная плотность, кг/м^3	731	728	742
Удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$	3157	3209	3164
Влажность, мас. %	0,42	0,36	0,58

Таблица 2

Химический состав зол и шлака, полученных при сжигании торфа на промышленных предприятиях Беларуси

Наименование оксидов и потери при прокаливании (ППП)	Химический состав торфяных зол и шлака, мас. %		
	Зола Усяжского ТБЗ	Зола Лидского ТБЗ	Шлак Лидского ТБЗ
SiO_2	42,68	34,99	56,75
Al_2O_3	6,94	7,60	11,53
Fe_2O_3	15,49	10,65	7,29
CaO	24,88	39,01	19,87
MgO	0,91	2,12	1,06
SO_3	4,00	0,61	0,19
Na_2O	0,62	0,44	0,69
P_2O_5	1,70	1,13	0,64
MnO_2	–	0,18	0,07
TiO_2	0,38	0,47	0,66
K_2O	1,36	0,94	1,21
ППП	1,04	1,86	0,04

Активность торфяных зол и шлака. Основным критерием, определяющим способность золы проявлять вяжущие свойства, явля-

ется наличие кальция в свободном или связанном виде. Наряду с этим используются следующие критерии [2–4]:

- модуль основности (гидросиликатный модуль) M_o , который представляет собой отношение суммы основных оксидов к сумме кислотных оксидов:

$$M_o = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) : (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3); \quad (1)$$

- силикатный (кремнеземистый) модуль M_c , показывающий отношение оксида кремния, вступающего в реакцию с другими оксидами, к суммарному содержанию оксидов алюминия и железа:

$$M_c = \text{SiO}_2 : (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3); \quad (2)$$

- коэффициент качества K , показывающий отношение оксидов, повышающих гидравлическую активность, к оксидам, снижающим ее:

$$K = (\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) : (\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2). \quad (3)$$

Результаты расчетов M_o , M_c и K показали, что золы, полученные при сжигании торфа на Усяжском ТБЗ, относятся к скрыто активным золошлаковым материалам и требуют интенсификации твердения; золы, полученные на Лидском ТБЗ, – к активным золошлаковым материалам и не требуют интенсификации твердения; шлак, полученный на Лидском ТБЗ, – к скрыто активным золошлаковым материалам и требует интенсификации твердения.

Влияние количества торфяных зол и шлака на физико-механические свойства бетонов. Характеристика исходных материалов. Для решения поставленной задачи были использованы:

- цемент марки М-500 ОАО «Красносельскстройматериалы» ПЦ-Д0 с тонкостью помола 96,5 %, истинной плотностью $3,1072 \text{ г/см}^3$, величиной удельной поверхности $3406 \text{ см}^2/\text{г}$, активностью 51,4 МПа;

- кварцевый песок для строительных работ, ГОСТ 8736, с модулем крупности $M_k = 2,14$;

- торфяные золы и шлак Лидского и Усяжского ТБЗ (Республика Беларусь); физические свойства и химический состав их представлены в табл. 1, 2;

- суперпластификатор – натриевая соль продукта конденсации сульфоксидата арома-

тических углеводородов с формальдегидом (тип 1 (НСПКСАУсФ-1)) и нейтрализации гидроокисью натрия. Характеристики НСПКСАУсФ-1: массовая доля сухих веществ – 62,9 %, плотность при 20 °С – 1,2761 г/см³, показатель активности водородных ионов – 8,24;

- щебень с максимальной крупностью зерен до 20 мм. Физико-механические свойства щебня: плотность 2692 кг/м³, влажность 0,16 мас. %, содержание глинистых и пылеватых частиц 0,12 мас. %, марка щебня 1200, соответствует ГОСТ 8267;

- микрокремнезем марки МК-85 (ТУ5743-048-02495332);

- для затворения бетонных смесей применяли водопроводную воду, которая отвечала требованиям СТБ 1114.

Технология приготовления бетонных смесей. Торфяные золы и шлак подвергали помолу в мельнице, затем вводили цемент, микрокремнезем МК-85, суперпластификатор НСПКСАУсФ-1 и смесь домалывали до получения высокодисперсной массы. В мешалку вводили мелкий и крупный заполнители, смесь диспергированных золы (шлака), микрокремнезема, суперпластификатора НСПКСАУсФ-1, цемента. Содержимое перемешивали, добавляли расчетное количество воды и размешивали до получения однородной массы. Полученной смесью заполняли формы и после отверждения образцы бетона испытывали.

Составы и физико-механические свойства бетонов. Составы бетонных смесей и физико-механические показатели бетонов, содержащих торфяные золы и шлак торфопредприятий Беларуси, приведены в табл. 3–5.

Определение плотности, водопоглощения, водонепроницаемости, предела прочности при осевом сжатии бетонов проводили по ГОСТ 12730.0–78 и ГОСТ 12730.5–78. Водопоглощение определяли испытанием образцов бетона по ГОСТ 12730.3–78, водонепроницаемость бетона – по ГОСТ 12730.5–78 ускоренным методом по его воздухопроницаемости. Для проведения испытаний использовали устройство типа «Агама-2Р», в котором герметизирующая мастика удовлетворяла требованиям ГОСТ 14791.

Анализ данных табл. 3–5 (составы 2–6) показывает, что предел прочности бетона при осевом сжатии составляет 78–134 МПа, а для

контрольного состава – 53 МПа, т. е. этот показатель в 1,5–2,5 раза больше, чем для контрольного образца. Водонепроницаемость бетонов, полученных по составам 2–6, лучше, чем у контрольного образца. Так, марки по водонепроницаемости заявляемых бетонов были W8–W20 против W4 для контрольного образца, не содержащего добавки.

Таблица 3

**Составы бетонных смесей
и физико-механические показатели бетонов,
содержащих торфяную золу Усяжского ТБЗ**

Наименование	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
Состав бетонной смеси, мас. %						
Щебень	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4
песок	20,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3
Цемент ПЦ-500	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Вода	10,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
Добавка, % от массы цемента						
Зола	–	2	6	8	12	14
Микрокремнезем МК-85	–	10	6	4	2	2
Суперпластификатор НСПКСАУсФ-1	–	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Физико-механический показатель образцов бетона						
Плотность, кг/м ³	2242	2329	2341	2345	2347	2349
Предел прочности при осевом сжатии, МПа	53	123	116	98	89	81
Водопоглощение, %	3,4	2,0	2,1	2,1	2,4	2,5
Марка по водонепроницаемости	W4	W20	W18	W16	W14	W10

Таблица 4

**Составы бетонных смесей
и физико-механические показатели бетонов,
содержащих торфяную золу Лидского ТБЗ**

Наименование	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
Состав бетонной смеси, мас. %						
Щебень	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4
Песок	20,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3
Цемент ПЦ-500	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Вода	10,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
Добавка, % от массы цемента						
Зола	–	2	6	8	12	14
Микрокремнезем МК-85	–	10	6	4	2	2
Суперпластификатор НСПКСАУсФ-1	–	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Физико-механический показатель образцов бетона						
Плотность, кг/м ³	2242	2331	2343	2346	2348	23450
Предел прочности при осевом сжатии, МПа	53	134	128	107	95	86
Водопоглощение, %	3,4	1,8	1,8	1,9	2,1	2,3
Марка по водонепроницаемости	W4	W24	W20	W18	W16	W12

Таблица 5

**Составы бетонных смесей
и физико-механические показатели бетонов,
содержащих шлак Лидского ТБЗ**

Наименование	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
Состав бетонной смеси, мас. %						
Щебень	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4
Песок	20,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3
Цемент ПЦ-500	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Вода	10,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
Добавка, % от массы цемента						
Шлак	–	2	6	8	12	14
Микрокремнезем МК-85	–	10	6	4	2	2
Суперпластификатор НСПКСАУсФ-1	–	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Физико-механические показатели образцов бетона						
Плотность, кг/м ³	2242	2328	2337	2342	2346	2348
Предел прочности при осевом сжатии, МПа	53	118	112	91	84	78
Водопоглощение, %	3,4	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7
Марка по водонепроницаемости	W4	W18	W18	W14	W12	W8

Таким образом, бетонные смеси, содержащие золы и шлак, полученные от сжигания торфа на промышленных установках Усяжского и Лидского ТБЗ, а также микрокремнезем МК-85 и суперпластификатор НСПКСАУсФ-1, имеют существенные преимущества перед известным контрольным составом 1 (табл. 3–5). Разработанные высокопрочные бетоны найдут широкое применение при изготовлении ответственных мостовых и тоннельных конструкций и др.

ВЫВОДЫ

Использование торфяных зол и шлака совместно с микрокремнеземом МК-85 и суперпластификатором НСПКСАУсФ-1 для производства бетонных и железобетонных конструкций мостов и тоннелей обеспечит следующие преимущества:

- уменьшение поперечного сечения конструкций при сохранении их несущей способности благодаря более высокому значению предела прочности при осевом сжатии;

- более высокие плотность, водо- и газонепроницаемость за счет низкого водоцементного отношения;

- повышенную стойкость к агрессивной окружающей среде за счет более низкого содержания капиллярных пор, что и обеспечит долговечность мостовых конструкций;

- уменьшение поперечного сечения конструкций и их массы, что сократит расходы на транспортировку и монтаж конструкций;

- более высокую начальную прочность и раннюю распалубку и предварительное обжатие, что сократит сроки ввода в эксплуатацию сооружения;

- при использовании только 10000 т/год торфяной золы взамен части цемента в составе бетона экономический эффект составит, по предварительным оценкам, более 200000 у. е.;

- достижение экологического и социального эффектов.

В перспективе произойдет постепенное замещение обычных традиционных бетонов многокомпонентными. В таких бетонах будут использоваться высокодисперсные золы от сжигания твердого топлива, добавки различного функционального назначения, улучшающие удобоукладываемость бетонных смесей и обеспечивающие получение высокопрочных бетонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Геополимербетон** с золой уноса [Электрон. ресурс] / Строительный мир. – Режим доступа: <http://www.stroinauka.ru/d19dr5492m2.html>. – Дата доступа: 11.01.2006.
2. **Волженский, А. В.** Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Б. Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 247 с.
3. **Урьев, Н. Б.** Высококонцентрированные дисперсные системы / Н. Б. Урьев. – М.: Химия, 1980. – 320 с.
4. **Рыбьев, И. А.** Создание строительных материалов с заданными свойствами / И. А. Рыбьев, А. А. Жданов // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 3. – С. 45–48.
5. **Баженов, Ю. М.** Развитие теории формирования структуры и свойств бетонов с техногенными отходами / Ю. М. Баженов, Л. А. Алимов, В. В. Воронин // Известия вузов. Строительство. – 1996. – № 7. – С. 55–58.
6. **Баженов, Ю. М.** Технология бетонных и железобетонных изделий: учеб. / Ю. М. Баженов, А. Г. Комар. – М.: Стройиздат, 1984. – С. 290–293.
7. **Добавки в бетон:** справ. пособие / В. С. Рамачандран [и др.]; под ред. В. С. Рамачандрана. – М.: Стройиздат, 1988. – С. 168–184.
8. **Власов, В. К.** Закономерности оптимизации состава бетона с дисперсными минеральными добавками /

В. К. Власов // Бетон и железобетон. – 1993. – № 4. – С. 10–12.

9. **Власов, В. К.** Механизм повышения прочности бетона при введении микронаполнителя / В. К. Власов // Бетон и железобетон. – 1988. – № 10. – С. 9–11.

10. **Высоцкий, С. А.** Минеральные добавки для бетонов / С. А. Высоцкий // Бетон и железобетон. – 1994. – № 2. – С. 7–10.

11. **Bastian, S.** Wodoszczelnosc Betonow z Popiolow Lotnych / S. Bastian // Przegląd Budowlany. – 1971. – No 6. – P. 319–329.

12. **Bendz Dale, P.** Simulation Studies of the Effects of Mineral Admixtures on the Cement Paste-Aggregate Interfacial Zone / P. Bendz Dale, J. Garfodzi Edward // ACI Materials Journal. – 1991. – Vol. 88, No 8. – P. 518–529.

13. **Berry, E. E.** Fly Ash for Use in Concrete – A Critical Review / E. E. Berry, V. M. Malhotra // ACI Journal. – 1980. – Vol. 77, No 2. – P. 59–73.

14. **Composite** Cementless Binder from Mechanical Active Industrial Wastes Text / Yu. M. Bazhenov [et al.] // Proceedings of the 5 International Symposium on the Cement and Concrete Shanghai, China, 2002, Oct. 28.–Nov. 1. – P. 832–840.

15. **Feng, Nai-Qian.** High-Strength and Flowing Concrete with a Zeolitic Mineral Admixture / Nai-Qian Feng, Li Gui-Zhi, Zang Xuan-Wu // Cements, Concrete and Aggregates. – 1990. – Vol. 12, No 2. – P. 61–69.

16. **Hogan, F. J.** Evaluation for Durability and Strength Development of a Ground Granulated Blast Furnace Slag / F. J. Hogan, J. W. Meusel // Cements, Concrete and Aggregates. – 1981. – Vol. 3, No 1. – P. 40–52.

17. **Lane, R. O.** Properties and Use of Fly Ash in Portland Cement Concrete / R. O. Lane, J. F. Best // Concrete International. – 1982. – Vol. 4, No 7. – P. 81–92.

18. **Larbi, J. A.** Effect of Water-Cement Ratio, Quantity and Fineness of sand on the Evolution of Lime in Set Portland Cement Systems / J. A. Larbi, J. M. Bijen // Cem. and Concr. Res. – 1990. – Vol. 20, No 5. – P. 783–794.

19. **Larbi, J. A.** The Chemistry of the Pole Fluid of Silica Fume-Blended Cement Systems / J. A. Larbi, J. M. Bijen // Cem. and Concr. Res. – 1990. – Vol. 20, No 4. – P. 506–516.

20. **Malhotra, V. M.** High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories Text. / V. M. Malhotra, P. K. Mehta. – Ottawa, Canada: Printed by Marguardt Printing Ltd., 2002. – P. 101.

21. **Malhotra, V. M.** Pozzolan and Cementitious Materials / V. M. Malhotra, P. K. Mehta. – Gordon and Breach Publishers, 1996. – P. 191.

22. **Matsufuji, Y.** Прочностные характеристики растворов содержащих сверхтонкие частицы / Y. Matsufuji, H. Kohhata, S. Harada // Semento Konkuroto Ronbunshu = CAJ Proc. Cem. and Concr. – 1991. – № 45. – С. 264–269.

23. **Opoczky, L.** Kohosalak Mechanikai Akti-Valasa Finomorlessel / L. Opoczky // Epitoanyag. – 1990. – Vol. 42, No 3. – P. 81–84.

24. **Roberts, L. R.** Microsilica in Concrete / L. R. Roberts, W. R. Grace // Mater. Sci. Concr. 1. – Westerville (Ohio), 1989. – P. 197–222.

25. **Sarkar Shondeep, L.** Microstruktura of a Very Low Water/Cement Silica Fume Concrete / L. Sarkar Shendeep // Microscope. – 1990. – Vol. 38, No 2. – P. 141–152.

26. **Xu, Ziyi** Research on Super Fine Fly Ash and Its Activity / Xu Ziyi, Liu Linzhy // Proc. Beijing Int. Symp. Cem. and Concr., Beijing, May 14–17, 1985. – 1985. – Vol. 1. – P. 493–507.

27. **Бабков, В. В.** Аспекты формирования высокопрочных и долговечных цементных связей в технологии бетонов / В. В. Бабков, И. Ш. Каримов, П. Г. Комохов // Известия вузов. Строительство. – 1996. – № 4. – С. 41–48.

28. **Зоткин, А. Г.** Микронаполняющий эффект минеральных добавок в бетоне / А. Г. Зоткин // Бетон и железобетон. – 1994. – № 3. – С. 7–9.

29. **Каприелов, С. С.** Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов / С. С. Каприелов // Бетон и железобетон. – 1995. – № 6. – С. 16–20.

30. **Костин, В. В.** Применение зол и шлаков ТЭС в производстве бетонов / В. В. Костин. – Новосибирск: НГСАУ, 2001. – 176 с.

31. **Красный, И. М.** О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителей / И. М. Красный // Бетон и железобетон. – 1987. – № 5. – С. 10–11.

32. **Кузнецова, Т. В.** Физическая химия вяжущих материалов / Т. В. Кузнецова, И. В. Кудряшов, В. В. Тимев. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.

33. **Лещинский, М. Ю.** Бетоны и растворы с применением зол ТЭС (опыт Украины) / М. Ю. Лещинский, Б. М. Галлеев, В. М. Масютин. – М.: Знание, 1988. – 64 с.

34. **Меренцова, Г. С.** Современные технологии использования зол канско-ачинских бурых углей для производства бетонов. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 1994. – 143 с.

35. **Меренцова, Г. С.** Физико-химические и технологические основы регулируемого структурообразования золобетонов: дис. ... д-ра тех. наук: 05.23.05 / Г. С. Меренцова. – Барнаул, 1997. – 296 с.

36. **Овчаренко, Г. И.** Золы углей КАТЭКа в строительных материалах / Г. И. Овчаренко. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1992. – 216 с.

37. **Овчаренко, Г. И.** Оценка свойств зол углей КАТЭКа и их использование в тяжелых бетонах / Г. И. Овчаренко, Л. Г. Плотникова, В. Б. Францен. – Барнаул: Изд-во АлтГТИ, 1997. – 149 с.

38. **Ольгинский, А. Г.** Пылеватые минеральные добавки к цементным бетонам / А. Г. Ольгинский // Строительные материалы и конструкции. – 1990. – № 3. – С. 18.

39. **Павленко, С. И.** Бетоны из твердых отходов предприятий и комплексное их использование в строительстве / С. И. Павленко. – Новокузнецк: Изд-во СибГГМА, 1996. – 152 с.

40. **Павленко, С. И.** Создание мелкозернистого бесцементного бетона на основе высококальциевых зол и шлаков тепловых электростанций / С. И. Павленко, В. И. Мальшкн. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 1999. – 151 с.

41. **Савинкина, М. А.** Золы канско-ачинских углей / М. А. Савинкина, А. Т. Логвиненко. – Новосибирск: Наука, 1979. – 168 с.

42. **Сканави, Н. А.** Строительные материалы из отходов промышленности: проблемы и решения / Н. А. Сканави // Строительство. Специализир. информ. бюл. – 2002. – № 1 (1). – С. 8–9.

43. **Леонович, И. И.** Испытание дорожно-строительных материалов / И. И. Леонович, В. А. Стрижевский, К. Ф. Шумчик // Испытание минеральных вяжущих. – Минск: Вышэйш. шк., 1991. – 233 с.

REFERENCES

1. **Geopolimerbeton s Zoloi Unosa** [Geopolymer Concrete with Peat Fly Ash]. Available at: <http://www.stroinauka.ru/d19dr5492m2.html> (accessed 11 January 2006).
2. **Volzhensky, A. V.,** Ivanov, I. A., & Vinogradov, B. N. (1984) *Application of Ash and Fuel Slag for Fabrication of Construction Materials*. Moscow, Stroyizdat. 247 p. (in Russian).
3. **Uriev, N. B.** (1980) *High Concentrated Disperse Systems*. Moscow, Khimia. 320 p. (in Russian).
4. **Rybiev, I. A., & Zhdanov, A. A.** (2003) Development of Construction Materials with Predetermined Properties. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 3, 45–48 (in Russian).
5. **Bazhenov, Yu. M.,** Alimov, L. A., & Voronin, V. V. (1996) Development of Theory for Formation of Structure and Properties of Concrete with Technogenic Wastes. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 7, 55–58 (in Russian).
6. **Bazhenov, Yu. M., & Komar, A. G.** (1984) *Technology of Concrete and Reinforced Products*. Moscow, Stroyizdat, 290–293 (in Russian).
7. **Ramachandran, V. S.,** Fel'dman, R. F., Kolleparadi, M., Mal'khotra, V. M., Dolch, V. L., Mekhta, P. K., & Ratinov, V. B. (1988) *Concrete Additives: Reference Guide*. Moscow, Stroyizdat, 168–184 (in Russian).
8. **Vlasov, V. K.** (1993) Regularities in Optimization of Concrete Composition with Disperse Mineral Additives. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 4, 10–12 (in Russian).
9. **Vlasov, V. K.** (1988) Mechanism for Higher Concrete Strength while Introducing Microfiller. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 10, 9–11 (in Russian).
10. **Vysotsky, S. A.** (1994) Mineral Additives for Concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2, 7–10 (in Russian).
11. **Bastian, S.** (1971) Wodoszczelnosc Betonow z Popiolow Lotnych. *Przeglad Budowlany*, 6, 319–329 (Polish).
12. **Bentz Dale, P., & Garboczi Edward, J.** (1991) Simulation Studies of the Effects of Mineral Admixtures on the Cement Paste-Aggregate Interfacial Zone. *ACI Materials Journal*, 88 (8), 518–529.
13. **Berry, E. E., & Malhotra, V. M.** (1980) Fly Ash for Use in Concrete – A Critical Review. *Journal of the American Concrete Institute*, 77 (2), 59–73.
14. **Bazhenov, Yu. M.,** Magdejev, U. Kh, Pavlenko, S. I., Kulagin, N. M., Aksenov, A. V., Tkachenko, V. V., Dobretsov, N. L., Lyakhov, N. Z., & Avvakumov, E. G. (2002) Composite Cementless Binder from Mechanical Active Industrial Wastes Text. *Proceedings of the 5 International Symposium on the Cement and Concrete Shanghai, China, Oct. 28.–Nov. 1, 2002*, 832–840.
15. **Feng, Nai-Qian, Li, Gui-Zhi, & Zang, Xuan-Wu.** (1990) High-Strength and Flowing Concrete With a Zeolitic Mineral Admixture. *Cements, Concrete and Aggregates*, 12 (2), 61–69. Doi: 10.1520/CCA10273J.
16. **Hogan, F. J., & Meusel, J. W.** (1981) Evaluation for Durability and Strength Development of a Ground Granulated Blast Furnace Slag. *Cements, Concrete and Aggregates*, 3 (1), 40–52. Doi: 10.1520/CCA10201J.
17. **Lane, R. O., & Best, J. F.** (1982) Properties and Use of Fly Ash in Portland Cement Concrete. *Concrete International*, 4 (7), 81–92.
18. **Larbi, J. A., & Bijen, J. M.** (1990) Effect of Water-Cement Ratio, Quantity and Fineness of sand on the Evolution of Lime in Set Portland Cement Systems. *Cement and Concrete Research*, 20 (5), 783–794. Doi: 10.1016/0008-8846(90)90012-M.
19. **Larbi, J. A., & Bijen, J. M.** (1990) The Chemistry of the Pole Fluid of Silica Fume-Blended Cement Systems. *Cement and Concrete Research*, 20 (4), 506–516. Doi: 10.1016/0008-8846(90)90095-F.
20. **Malhotra, V. M., & Mehta, P. K.** (2002) *High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories Text*. Ottawa, Canada, Printed by Margardt Printing Ltd. 101 p.
21. **Malhotra, V. M., & Mehta, P. K.** (1996) *Pozzolan and Cementitious Materials*. Gordon and Breach Publishers. 191 p.
22. **Matsufuji, Y.,** Kohhata, H., & Harada, S. (1991) Strength Characteristics of Solutions Containing Submicron Particles. *Semento Konkurito Ronbunshu = CAJ Proc. Cem. and Concr.* 45, 264–269.
23. **Opoczky, L.** (1990) Kohosalak Mechanikai Akti-Valasa Finomorlessel. *Epitoanyag*, 42 (3), 81–84.
24. **Roberts, L. R., & Grace, W. R.** (1989) Microsilica in Concrete. *Mater. Sci. Concr. 1*. Westerville, Ohio, 197–222.
25. **Sarkar, Shondeep L.** (1990) Microstruktura of a Very Low Water/Cement Silica Fume Concrete. *Microscope*, 38 (2), 141–152.
26. **Xu, Ziyi, & Linzhy, Liu.** (1985) Research on Super Fine Fly Ash and Its Activity. *Proc. Beijing Int. Symp. Cem. and Concr., Beijing, May 14–17, 1985*, 1, 493–507.
27. **Babkov, V. V.,** Karimov, I. Sh., & Komokhov, P. G. (1996) Aspects for Formation of Highly Strong and Durable Cement Binders in Concrete Technology. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 4, 41–48 (in Russian).
28. **Zotkin, A. G.** (1994) Micro-Filling Effect of Mineral Additives in Concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 3, 7–9 (in Russian).
29. **Kaprielov, S. S.** (1995) General Regularities in Formation of Cement Stone and Concrete Structure with Addition of Ultra-Disperse Materials. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 6, 16–20 (in Russian).
30. **Kostin, V. V.** (2001) *Application of TPS Ash and Slag for Concrete Fabrication*. Novosibirsk: NGS AU [Novosibirsk State Agricultural University]. 176 p. (in Russian).
31. **Krasny, I. M.** (1987) On Mechanism for Improvement of Concrete Strength While Introducing Micro-Fillers.

Beton i Zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete], 5, 10–11 (in Russian).

32. **Kuznetsova, T. V.**, Kudriashov, I. V., & Timaev, V. V. (1989) *Physical Chemistry of Binding Materials*. Moscow, Vysshaya Shkola. 384 p. (in Russian).

33. **Leshchinsky, M. Yu.**, Galleev, B. M., & Masiutin, V. M. (1988) *Concrete and Solutions While Using TPS ash (Experience of the Ukraine)*. Moscow, Znanie. 64 p. (in Russian).

34. **Merentsova, G. S.** (1994) *Modern Technologies Angry Kansk-Achinsk Brown Coal for the Production of Concrete*. Barnaul: Publishing House of the Altai State University. 143 p. (in Russian).

35. **Merentsova, G. S.** (1997) *Fiziko-Khimicheskie i Tekhnologicheskie Osnovy Reguliruемого Strukturoobrazovaniia Zolobetonov. Dissertatsiia Doktora Tekhnicheskikh Nauk* [Physical and Chemical and Technological Principles for Regulated Structure Formation of Ash Concrete. Dr. tech. sci. diss.]. Barnaul. 296 p. (in Russian).

36. **Ovcharenko, G. I.** (1992) *KATEK-Coal Ash in Construction Materials*. Krasnoyarsk: Publishing House of Krasnoyarsk University. 216 p. (in Russian).

37. **Ovcharenko, G. I.**, Plotnikova, L. G., & Frantsen, V. B. (1997) *Evaluation of KATEK Coal Ash Properties and Their Usage in Heavy Concrete*. Barnaul: Publishing House of Altai State Technical Institute. 149 p. (in Russian).

38. **Olginsky, A. G.** (1990) Powder Mineral Additives for Cement Concrete. *Stroitelnye Materialy i Konstruktsii* [Construction Materials and Structures], 3, 18 (in Russian).

39. **Pavlenko, S. I.** (1996) *Concrete from Enterprise Solid Wastes and Their Complex Usage in Construction*. Novokuznetsk: Publishing House of Siberian State Mining and Metallurgical Academy. 152 p. (in Russian).

40. **Pavlenko, S. I.**, & Malyshkin, V. I. (1999) *Creation of Fine Grain Non-Cement Concrete on the Basis of High-Calcium Ash and Slag of Thermal Power Stations*. Novokuznetsk: Publishing House of Siberian State Industrial University. 151 p. (in Russian).

41. **Savinkina, M. A.**, & Logvinenko, A. T. (1979) *Ash of Kansk-Achinsky Coal*. Novosibirsk, Nauka. 168 p. (in Russian).

42. **Skanavi, N. A.** (2002). Construction Materials from Industrial Wastes: Problems and Solutions / N. A. Skanavi // *Stroitelstvo. Spetsializirovannyi Informatsionnyi Biulleten'* [Construction. Specialized Information Bulletin], 1 (1), 8–9 (in Russian).

43. **Leonovich, I. I.**, Strizhevsky, V. A., & Shumchik, K. F. (1991) *Test of Road and Construction Materials*. Minsk, Vysheishaia Shkola. 233 p. (in Russian).

Поступила 05.01.2015

УДК 624.9

ОБ ОЦЕНКЕ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Докт. техн. наук, проф. ОСИПОВ С. Н., ПОЗДНЯКОВ Д. А.

ГП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.»

E-mail: up-niptis@rambler.ru

Реальная оценка степени износа технических устройств, строительных конструкций, горных выработок и т. п., их элементов и соединений является важнейшим фактором обеспечения безопасности и эффективности эксплуатации. Природные свойства подавляющего большинства материалов вследствие различных причин (внешнего воздействия, технологии обработки и др.) в определенной степени следуют вероятностным (стохастическим) законам. В строительной отрасли республик бывшего СССР оценка степени физического износа зданий и сооружений и их элементов хотя и производится в основном по внешним физическим признакам (прогибы, трещины, отслоения и т. п.), но проценты износа зачастую берутся по восстановительной стоимости по сравнению с начальной даже без учета инфляции, которой в СССР официально как будто не существовало. При этом за 100 % износа принимается разрушение или отказ строительных конструкций или их элементов.

В статье предлагается новая методика оценки степени физического износа по величине вероятности безотказной работы (надежности), минимальная величина которой приурочена к предельно допустимой в соответствии с требованиями к рассматриваемым техническим устройствам, строительным конструкциям, горным выработкам и т. п., их элементам и соединениям. При этом за 100 % износа конструкции принимается минимально допустимая вероятность износа (надежность), а за 0 – ее начальное значение. Поэтому интенсивность износа во времени зависит от вида распределения вероятности значений величины определяемого физического свойства. Предлагаемая методика предназначена для вероятностной оценки износа элементов при относительно простом изменении прочностных свойств материалов (например, в пределах упругости).

Ключевые слова: износ, вероятность отказа, надежность, технические устройства, строительные конструкции, элементы, соединения, шкала надежности.

Ил. 1. Библиогр.: 12 назв.

ON ASSESSMENT OF PHYSICAL WEAR IN ELEMENTS OF TECHNICAL DEVICES

OSIPOV S. N., POZDNIAKOV D. A.

RUE "Institute of Housing – NIPTIS named after Ataev S. S."

Real assessment of wear in technical devices, construction structures, minings, their elements and connections is of great importance for provision of operational security and efficiency. Natural properties of the overwhelming majority of materials follow to probabilistic (stochastic) laws due to various reasons (external influence, processing technologies and others). An assessment of physical wear rate of buildings and structures and their elements is carried out in the former republics of the USSR mainly in accordance with external physical signs (deflections, cracks, layer separations, etc.) but wear percentage is often calculated on the basis of replacement cost in comparison with the initial one even without taking into account inflation which did not officially exist in the USSR. In this case destruction or failure of structure or their elements are considered as 100 % wear.

The paper proposes a new methodology for assessment of physical wear rate in accordance with probability ratio of no-failure operation (reliability), minimum ratio is assigned to admissible limit value in conformity with technical requirements for the technical devices, construction structures, minings in question, their elements and connections. In this context minimum permissible wear probability (reliability) is taken as 100 % wear rate and its initial index is considered as 0 % wear rate. That is why wear intensity in time depends on type of value probability distribution while determining the rate of physical property. The proposed methodology is intended for probabilistic wear assessment in case of relatively simple changes in strength properties of materials (for example, within the elastic limit).

Keywords: wear, failure probability, reliability, technical devices, construction structures, elements, connections, reliability scale.

Fig. 1. Ref.: 12 titles.

Природные свойства подавляющего большинства материалов вследствие различных причин в определенной степени следуют вероятностным (стохастическим) законам распределения. В зависимости от сроков эксплуатации различных технических устройств, строительных конструкций, их элементов и соединений изменяются вероятностные характеристики их физических свойств, что совершенно недостаточно учитывается при оценке степени износа. Для ликвидации этого пробела в 2009 г. были поданы заявки, а в 2013-м получены патенты [1], в которых предложена новая методика разработки вероятностной шкалы оценки степени физического износа элементов зданий.

Классическая теория надежности [2] в значительной мере базируется на теории вероятности, что является актуальным до сих пор [3]. Общепринятое сегодня аксиоматическое определение вероятности было разработано академиком А. Н. Колмогоровым на основе теории множеств [4] и опубликовано еще в 1936 г. Известен способ оценки физического износа жилых зданий [5, 6], включающий понятие физического износа конструкции, элемента, системы инженерного оборудования и здания в целом, под которым понимается утрата первоначальных технико-эксплуатационных качеств

(прочности, устойчивости, надежности и др.) в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека. Физический износ на момент его оценки в [5] выражается соотношением стоимости объективно необходимых ремонтных мероприятий, устраняющих повреждения конструкций, элемента, системы или здания в целом и их восстановительной стоимости.

Таким образом, способ оценки, приведенный в [5, 6], определяет не физический (уменьшение прочности, устойчивости, надежности и т. п.), а стоимостной износ, при котором 100 % износа наступает при достижении стоимости объективно необходимых ремонтных мероприятий, устраняющих повреждения конструкций, элемента, системы или здания в целом, стоимости новых поврежденных объектов и их встраивания в систему или здание в период обследования. Следовательно, такая величина износа зависит от сложившихся в период обследования рыночных цен на строительные изделия, материалы и ремонтные работы. Поэтому способ оценки [5] так называемого физического износа к физике процесса потери прочности строительных изделий и конструкций имеет весьма косвенное отношение, а определение термина «физический износ» (здания,

элемента) не соответствует содержанию смысла этого термина.

Известен способ оценки морального износа здания (элемента) [7, приложение 1], который характеризуется степенью несоответствия основных параметров, определяющих условия проживания, объем и качество предоставляемых услуг, современным требованиям. Этот способ незначительно влияет на безопасность функционирования здания, хотя зачастую играет существенную и даже решающую роль при выборе вида ремонта, модернизации и реконструкции. Известен способ оценки физического износа здания (элемента), приведенный в [7, приложение 1], где сказано, что «физический износ здания (элемента) – величина, характеризующая степень ухудшения технических и связанных с ними других эксплуатационных показателей здания (элемента) на определенный момент времени». Такое определение термина «физический износ» имеет всеобъемлющий качественный характер без описания конкретных возможных количественных оценок, которые необходимы для принятия технических решений. Таким образом, используемые в настоящее время [5–7] определения понятий морального и физического износа не позволяют представить способ реальной оценки износа элемента здания и здания в целом в реальном масштабе времени.

Для сравнения с предлагаемым методом принята фундаментальная работа Е. П. Матвеева [8, с. 44], в которой физический износ характеризуется, как «количественная оценка технического состояния, показывающая долю ущерба по сравнению с первоначальным состоянием технических и эксплуатационных свойств конструкций и здания в целом». В [8] приведены значения усредненных степеней износа московских и Санкт-петербургских домов массовой застройки, достигающих за более чем 50 лет 40–50 %. И это в условиях проведения необходимых ремонтов.

Далее в [8, с. 163] для теоретической оценки уменьшения надежности системы во времени $V(T)$, состоящей из совокупности элементов здания, используется утверждение, что «время достижения критического множества Q в достаточно общих предположениях, выпол-

ненных для широкого класса практических задач, имеет экспоненциальное распределение, так что $V(T) \approx \exp(-T/T_{кр})$, где T – текущее время и $T_{кр}$ – среднее время достижения критического уровня». По мнению авторов данной статьи, среднее время достижения критического уровня соответствует определениям капитального ремонта [7, с. 10], где говорится, что капитальный ремонт здания – это ремонт с целью восстановления его ресурса.

Такой общий подход к оценке уменьшения надежности нормального функционирования здания не может характеризовать отдельные элементы, состояние которых может решительным образом повлиять на состояние всей конструкции здания или его отдельных систем. Но главным недостатком принятого в [8] понятия износа является его распространение по сравнению с первоначальным состоянием технических показателей, в том числе прочностных свойств силовых элементов здания. Значит, средний износ в размере 50 % в два раза ослабляет расчетную прочность несущих конструкций зданий, а с учетом возможных колебаний – существенно больше. Тогда почему при среднем уровне износа до 50 % тысячи зданий Москвы и Санкт-Петербурга до сих пор не рухнули?

Следовательно, главным недостатком предложенного в [8] понятия физического износа являются его отнесение к первоначальным физическим характеристикам здания и отсутствие при его (физического износа) оценке учета увеличения во времени вероятности отказа каждого элемента здания. По мнению авторов данной статьи, для проведения более объективной оценки технического и эксплуатационного состояний здания его физический износ следует относить не только к первоначальным физическим характеристикам здания, но и к повышению во времени вероятности отказа или разрушения каждого элемента. Эта вероятность отказа или разрушения в предельном состоянии не должна превышать $\Phi(T) = 0,5$, что примерно соответствует среднему значению оцениваемого параметра без учета присущего вероятностному разбросу всех входящих в определение расчетного значения параметра величин (коэффициентов).

Задачами предлагаемого метода оценки вероятностного износа элементов зданий являются:

- оценка динамики значений вероятности отказа или разрушения упругого элемента здания в процессе их эксплуатации в течение срока службы;

- разработка вероятностной шкалы оценки степени физического износа элементов зданий;

- пределы практически возможного значения используемого физического параметра элементов по фактору вероятности отказа или разрушения.

Технический результат, соответствующий указанным задачам, достигается посредством нового способа вероятностной оценки износа элементов зданий, включающего определение усредненной степени физического износа здания на основе количественной оценки текущего технического состояния его элементов и здания в целом по сравнению с первоначальным состоянием технических и эксплуатационных свойств конструкций. По предлагаемому методу в качестве физического показателя износа упругого элемента здания принимают повышение вероятности его отказа или разрушения за известный промежуток времени, определяют среднюю прочность упругого конструктивного элемента в начале эксплуатации и через известный промежуток времени, устанавливают величины начальной и предельно допустимой за весь срок службы вероятности отказа или разрушения упругого конструктивного элемента здания, далее рассчитывают по полученным значениям либо путем деления разности средних значений начальной и предельно допустимой прочности на 100 % и на величину срока службы элемента. Затем формируют процентную и временную шкалы, характеризующие меру износа элемента здания, на основании которых осуществляют оценку физического износа упругого конструктивного элемента здания за счет роста вероятности его отказа или разрушения во времени путем построения зависимостей, по которым определяют интенсивность изменения вероятности отказа (разрушения) за период ΔT в долях единиц за единицу времени $\varphi_i = f(\Delta T_i)$.

Предлагаемый метод основан на том, что в качестве физического параметра, являющегося основным в характеристиках износа элементов зданий, принимают вероятность отказа или разрушения, которая лежит в основе определения прочностных характеристик и определяет

понятие надежности элемента здания. Соответственно такой износ авторы определяют как вероятностный износ. Сущность метода оценки вероятностного износа элементов зданий включает определение начального уровня вероятности разрушения или отказа нового элемента и его средней прочности, предельно допустимого уровня вероятности отказа или разрушения и минимально допустимой средней прочности с периодическим определением этих параметров различными экспериментальными методами в течение срока службы элемента здания и анализом динамики изменения во времени. В результате такого мониторинга определяются текущие значения средней прочности элемента, вероятности отказа или разрушения и интенсивности их изменения.

Для сравнения измеренных изменений средних значений прочности и вероятностей разрушения с планово-предусмотренными разрабатываются шкала средних процентных изменений прочности (МПа/%), для которой за 100 % принимаются предельно допустимые уменьшение средней прочности и повышение вероятности разрушения (%/%), а также шкала изменений во времени, например за один год, средних величин прочности и роста вероятности отказа или разрушения (МПа/год и %/год). Шкала средних процентных изменений прочности характеризует меру вероятностного износа, а шкала изменений во времени – меру временного износа.

Явление физического износа любой конструкции, а также твердого и существенно ограниченного по пластичности материала в значительной мере аналогично понятию и механизму явления усталости металлов, описанному в [8, с. 585–586]. В основу этого механизма заложено представление о поликристалличности материала и неизбежности его неоднородности, за счет которой создаются возможности появления микротрещин. При этом в случае напряжений, вызванных статическими нагрузками, подобные микротрещины не опасны. Если напряжения переменны во времени, что характерно для строительных конструкций (ветровая и снеговая нагрузки, ремонтные и праздничные мероприятия жильцов и т. п.), то имеет место тенденция к развитию микротрещин, приводящих в конечном итоге к усталостному разрушению как отдельных элементов, так и целых

строительных конструкций. Такой механизм разрушения аналитически описывается в теории Гриффитса – Орована. Объяснение зависимости пределов усталостной выносливости металлов от размеров сечения деталей и других закономерностей и характеристик дают статистические теории усталости [8, с. 597]. В качестве основных факторов, влияющих на усталостный износ, рассматриваются [8, с. 598–601] состояние поверхности, в том числе коррозии, а также микронеровности, режимы нагружения и пауз, перегрузок, тренировки и колебаний температуры. Каждый из этих факторов и их сочетание могут оказывать существенное влияние на усталостный износ. Так, пластическая деформация поверхностного слоя может дать повышение предела выносливости на 10–20 %. Наличие в поверхностном слое значительных сжимающих остаточных напряжений затрудняет образование усталостных трещин, и поэтому повышается предел выносливости.

Существенное влияние на прочностные свойства материала оказывает его однородность [9, с. 454]. Например, для стали марки Ст.3 коэффициент однородности принимается в размере $k_0 = 0,85–0,90$, что примерно соответствует коэффициенту вариации прочности $K_v \approx 0,05$ (5,00 %). Величины коэффициентов вариации значений прочности бетона в условиях строительства составляют $K_v \approx 0,1–0,2$ (10,0–20,0 %) и уменьшаются с ростом средней прочности. Для учета снеговой нагрузки в [10, с. 454] рекомендуется коэффициент перегрузки, равный 1,4, который может быть различным. Поэтому при любом методе расчета строительных конструкций, в том числе по предельным состояниям, необходимо учитывать стохастичность свойств материала и нагрузок на строительную конструкцию.

Учитывая существенную стохастичность процессов разрушения материалов и изделий, следует их износ оценивать с позиции увеличения вероятности отказа или разрушения (понижения надежности) с ростом времени эксплуатации. Примером сказанному может служить случай обрушения кровли в спортзале Краснопольской школы [11]. УП «Стройнаука» обследовало 16 спортзалов, аналогичных аварийному, и в несущих конструкциях были обнаружены существенные дефекты и повреждения, в том числе сквозные трещины с раскрытием до 1,6 мм наклонной ориентации в опорных уз-

лах безраскосных железобетонных ферм пролетом 24 м – основных несущих конструкций этих спортзалов. Кроме этих признаков износа, обнаружено скалывание бетона оголовков удлиненных стоек ферм под опорами плит покрытий, а также горизонтальные и наклонные трещины в узлах сопряжения стоек с поясами ферм [11]. Таким образом, обрушение одной кровли из 17 дает около 6 % (0,06) вероятности разрушения, или 94 % (0,94) надежности функционирования до рассматриваемого момента времени. Для принятого при проектировании спортзалов коэффициента запаса 1,5 с учетом возможного превышения массы покрытия кровли на 25–30 % по сравнению с проектной коэффициент вариации прочности может составлять $K_v \approx 0,13$ для реализации одного случая из 17. Здесь также необходимо учесть, что разрушение оголовка одной из десятка или более ферм, поддерживающих кровлю спортзала, может привести к своеобразной цепной реакции разрушения и обрушению (быстрому опусканию) кровли здания, как это произошло на одном из московских рынков. Поэтому вероятность разрушения (отказа) элемента здания может служить количественным показателем физического износа, так как зависит от изменения средней прочности.

Если принять изменение распределения вероятности значений прочности строительной конструкции или элемента $N(x)$ соответствующим закону Гаусса (нормальный закон распределения), что признается большинством исследователей, то для нормального распределения $N(x, \sigma^2)$ плотность вероятности распределения $P(x)$ в точке x_i выражается [12, с. 12–14] уравнением

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2} \right], \quad (1)$$

где σ – стандартное отклонение; σ^2 – дисперсия; x_i – численное значение распределенной величины; $\bar{x}$ – среднее значение величины.

Тогда вероятность отказа (разрушения) элемента здания $\Phi(u)$ соответствует значению нормальной функции распределения $N(0, 1)$, определяемому из выражения

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{-u} \exp \left(-\frac{x^2}{2} \right) dx, \quad (2)$$

где $u = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$.

Если распределение значений необходимого показателя прочности элемента здания существенно отличается от нормального закона (например, описывается распределением плотности вероятности по Вейбуллу) и описывается положительной непрерывной конечной функцией $P_i(x)$, то вероятность отказа (разрушения) $\Phi_i(u_i)$ элемента определяется из выражения

$$\Phi_i(x_i) = \frac{\int_a^{u_i} P_i(u) du}{\int_a^b P(u) du}, \quad (3)$$

где $P_i(u)$ – функция распределения плотности вероятности; a – нижний предел интегрирования (начало функции плотности распределения), который может принимать значения от $(-\infty)$ до любой конечной величины, включая 0; b – верхний предел интегрирования (окончание функции плотности распределения), который может принимать значения от любой конечной величины, включая 0, до $(+\infty)$; u_i – значение аргумента (показателя прочности), для которого необходимо определить вероятность отказа (разрушения) элемента здания; du – бесконечно малое изменение аргумента.

Если функция $P_i(u)$ описана в научно-технической литературе ($P(x)$), то значение $\Phi_i(u)$ можно определить с помощью соответствующих таблиц. Для любой функции $P_i(u)$ значение $\Phi_i(u)$ можно определить графически (отношение площади под кривой от a до u_i к площади от a до b) или расчетным путем (суммирование с любой необходимой степенью точности). Авторы предлагаемого изобретения полагают, что исходя из существенности вероятностной природы отказа в качестве показателя 100%-го износа следует принимать среднее значение x используемой величины. Тогда старые здания Санкт-Петербурга и Москвы, достигшие 30–40 % износа, сохраняют надежность более 80 %. Изменение вероятности отказа (разрушения) графически определяется изменением (увеличением) величины площади под кривой 3 в соответствии с рис. 1, где $P(u)$ – плотность вероятности распределения значений прочности; Δu – относительное уменьшение среднего значения прочности в процессе эксплуатации элемента.

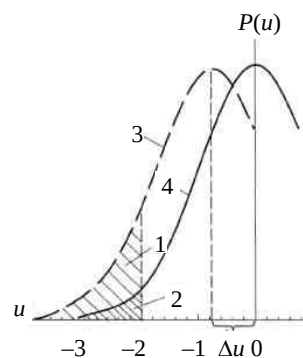


Рис. 1. Изменение плотности вероятности распределения прочности в процессе эксплуатации

Как видно из рис. 1, уменьшение средней прочности на величину Δu приводит к увеличению площади 1, эквивалентной вероятности отказа новой кривой 3 плотности вероятности распределения, по сравнению с площадью 2 первоначальной кривой 4. Все расчеты по определению вероятности отказа (разрушения) еще более упрощаются при использовании теоретической симметрии нормальной кривой плотности вероятности распределения значений прочности.

В соответствии с [5, 6] степень износа принято выражать в процентах от полной амортизации, принимаемой за 100 % износа. Если в [5, 6] оценка износа представлена в процентах полной стоимости обследуемого элемента, то для физического износа возможный диапазон изменения (уменьшения) прочностного или иного физического показателя ограничивается предельно допустимой величиной с заданной предельно допустимой вероятностью отказа. Поэтому понятие 100 % износа для физических показателей обозначает полное предельно допустимое исчерпание запаса определяемого параметра. Исходя из описанной особенности, каждый процент вероятностного износа является показателем роста вероятности отказа (разрушения), а процент износа составляет сотую долю предельно допустимого интервала вероятности отказа от начального момента до капитального ремонта $T_{кр}$ элемента здания. Кроме того, износ может характеризоваться ростом вероятности отказа за единицу времени (например, за год), что также представляет практический интерес. Таким образом, вследствие существенной криволинейности зависимости изменения вероятности отказа от уменьшения средней величины прочности шкалы возможного

износа оказываются нелинейными, а значения делений – неодинаковыми в разные периоды времени.

Необходимо отметить, что интенсивность роста вероятности отказа или разрушения строительной конструкции или ее элемента во времени при известном виде плотности вероятности распределения значений прочности можно количественно оценить за любой период эксплуатации ΔT_i [4, 8] в соответствии с выражением

$$\varphi = \frac{[\Phi_{i+1}(u_{i+1}) - \Phi_i(u_i)]}{\Delta T_i} = \frac{\int_{u_i}^{u_{i+1}} P_i(u) du}{\Delta T \int_{u_i}^b P(u) du}. \quad (4)$$

Пример расчета вероятностного износа и шкалы оценки железобетонной балки со сроком службы до капитального ремонта $T_{кр} = 50$ лет и с предельно допустимой вероятностью разрушения 5 % приведен в [1].

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемая методика оценки физического износа технических устройств, конструкций, систем инженерного оборудования, элементов и их взаимодействия на базе изменения вероятности отказа от нормального функционирования основана на базовых научных положениях теории вероятности.

2. Использование вероятностной оценки физического износа позволяет создавать и использовать новые по времени и вероятности шкалы, с помощью которых можно реально оценивать уровень безопасности эксплуатации обследованных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Способ** вероятностной оценки физического износа элементов зданий: пат. 17120 Респ. Беларусь: МПК E04H 1/00 / В. М. Пилипенко, С. Н. Осипов; дата публ.: 30.06.2013; **Способ** вероятностной оценки физического износа элементов зданий: пат. 018263 Евразийский: МПК E04H 1/00 (2006.01) / С. Н. Осипов, В. М. Пилипенко; дата публ. 28.06.2013.

2. **Колотилкин, Б. М.** Надежность функционирования жилых зданий / Б. М. Колотилкин. – М.: Стройиздат, 1989. – 274 с.

3. **Рябцев, В. Н.** Стохастический подход к оценке надежности и остаточного ресурса транспортных сооружений / В. Н. Рябцев // Наука и техника. – 2014. – № 5. – С. 24–29.

4. **Тарасов, Л. В.** Мир, построенный на вероятности / Л. В. Тарасов. – М.: Просвещение, 1984. – 192 с.

5. **Правила** оценки физического износа жилых зданий: ВСН 53-86(р). – М.: Госкомитет по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР, 1988. – 72 с.

6. **Здания и сооружения.** Оценка степени физического износа: ТКП 45-1.04-119-2008 (02250). – Минск: Минстройархитектуры, 2009. – 44 с.

7. **Положение** об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения: ВСН 58-88(р). – М.: Госкомитет по архитектуре и градостроительству при Госстрое СССР, 1990. – 32 с.

8. **Матвеев, Е. П.** Реконструкция жилых зданий. Часть 1. Теория, методы и технологии реконструкции жилых зданий / Е. П. Матвеев. – М.: ГУПЦПП, 1999. – 367 с.

9. **Сопротивление** материалов / Г. С. Писаренко [и др.]. – Киев: Выща шк., 1973. – 672 с.

10. **Рудицын, М. Н.** Справочное пособие по сопротивлению материалов // М. Н. Рудицын, П. Я. Артемов, М. И. Любошиц. – Минск: Госиздат БССР, 1961. – 516 с.

11. **Лапчинский, А. К.** Эксплуатационная надежность железобетонных безраскосных ферм / А. К. Лапчинский // Архитектура и строительство. – 2005. – № 1. – С. 114–116.

12. **Янко, Я.** Математико-статистические таблицы / Я. Янко. – М.: Госстатиздат, 1961. – 244 с.

REFERENCES

1. **Pilipenko, V. M., & Osipov, S. N.** (2013) *Method for Probabilistic Assessment of Physical Wear of Building Elements*. Patent Republic of Belarus No 17120; **Osipov, S. N., & Pilipenko, V. M.** (2013) *Method for Probabilistic Assessment of Physical Wear of Building Elements*. Eurasian Patent Office No 018263.

2. **Kolotilkin, B. M.** (1989) *Reliability in Functioning of Residential Buildings*. Moscow, Stroyizdat. 274 p. (in Russian).

3. **Riabtsev, V. N.** (2014) Stochastic Approach to Assessment of Reliability and Residual Resource of Transport Structures. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], 5, 24–29 (in Russian).

4. **Tarasov, L. V.** (1984) *World is Built on Probability*. Moscow, Prosveshchenie. 192 p. (in Russian).

5. **VSN 53-86(p)** [Departmental Building Codes]. *Regulations for Assessment of Physical Wear of Residential Buildings*. Moscow, State Committee on Civil Construction and Architecture Attached to USSR Gosstroy, 1988. 72 p.

6. **TKP 45-1.04-119-2008 (02250).** *Buildings and Structures. Assessment of Physical Wear Rate*. Minsk, Minstroyarkhitektury, 2009. 44 p. (in Russian).

7. **VSN 58-88(p)** [Departmental Building Codes]. *Statute on Organization and Execution of Reconstruction, Repair and Maintenance of Buildings, Communal, Social and Cultural Objects*. Moscow, State Committee on Civil Construction and Architecture Attached to USSR Gosstroy, 1990. 32 p. (in Russian).

8. **Matveev, E. P.** (1999) *Reconstruction of Residential Buildings. Part 1. Theory, Methods and Technologies for Reconstruction of Residential Buildings*. Moscow, GUPtPP

[State Unitary Enterprise Center Design Products in Construction]. 367 p. (in Russian).

9. **Pisarenko, G. S.**, Agarev, V. A., Kvitka, A. L., Popkov, V. G., & Umanskii, E. S. (1973) *Resistance of Materials*. Kiev, Vyscha Shkola. 672 p. (in Russian).

10. **Ruditsyn, M. N.**, Artemov, P. Ya., & Liuboshits, M. I. (1961) *Reference Book on Material Resistance*. Minsk, Gosizdat BSSR. 516 p. (in Russian).

11. **Lapchinsky, A. K.** (2005) Operational Reliability of Reinforced Concrete Open-Frame Girder. *Arkhitectura i Stroitelstvo* [Architecture and Construction], 1, 114–116 (in Russian).

12. **Yanko, Ya.** (1961) *Mathematical and Statistical Tables*. Moscow, Gosstatizdat. 244 p. (in Russian).

Поступила 18.11.2014

УДК 666:941; 693.54

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ, СОДЕРЖАЩЕЙ СТРУКТУРИРОВАННЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ НАНОМАТЕРИАЛ, НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА

Асп. ШЕЙДА О. Ю., докт. техн. наук, проф. БАТЯНОВСКИЙ Э. И.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: bat47@mail.ru

Изложены результаты исследований влияния отечественной комплексной химической добавки, содержащей структурированный углеродный наноматериал и характеризующейся совмещенным (ускоряющим твердение и пластифицирующим) эффектом воздействия на свойства цемента и цементного камня. Целью исследований, с одной стороны, являлось подтверждение эффективности добавки УКД-1 с позиций повышения темпа роста прочности цементного бетона и влияния добавки на сроки схватывания, т. е. сохранения формовочных свойств бетонных смесей во времени, а с другой – оценка «механизма» действия добавки УКД-1 в цементном бетоне. В результате установлены закономерности изменения под влиянием добавки водопотребности и сроков схватывания цемента, являющиеся предпосылкой соответствующих изменений формовочных свойств бетонных смесей, а также экспериментально обоснована возможность понижения температуры прогрева цементного бетона с добавкой УКД-1 с целью экономии энергоресурсов в производственных условиях. Кроме этого, подтверждена эффективность данной добавки, выраженная ростом прочности цементного камня до 20–40 % в проектном (28 сут.) возрасте, что является основной для роста прочности цементного бетона, и подтверждена гипотеза о физической природе данного явления, так как методом рентгенофазового анализа показано отсутствие изменений морфологии продуктов гидратации портландцемента под действием вещества добавки, содержащей структурированный углеродный наноматериал. Результаты теоретических и экспериментальных исследований эффективности добавки УКД-1 подтверждены производственной апробацией при изготовлении сборных изделий и возведении (устройстве) монолитных конструкций, в частности в условиях производства (г. Минск, ОП «Стройпрогресс» ОАО «МАПИД») и на строительных площадках (г. Могилев, ОАО «Стройтрест № 12»).

Ключевые слова: комплексная химическая добавка, цемент, углеродный наноматериал.

Ил. 2. Табл. 4. Библиогр.: 18 назв.

THE INFLUENCE OF THE COMPLEX CHEMICAL ADDITIVE CONTAINING THE STRUCTURED CARBON NANOMATERIAL ON PROPERTIES OF CEMENT

SHEYDA O. Yu., BATYANOVSKY E. I.

Belarusian National Technical University

The paper presents results of investigations on influence of domestic complex chemical additive containing structured carbon nanomaterial and characterized by a combination effect (curing acceleration and plasticizing) on cement and cement stone properties. The purpose of the investigations, on the one hand, has been to confirm efficacy of УКД-1-additive from the perspective for increasing the rate of gain, strength growth of cement concrete and additive influence on setting time with the purpose to preserve molding properties of concrete mixes in time, and on the other hand, that is to assess “mechanism” of the УКД-1 additive action in the cement concrete. The research results have revealed regularities in changes due to the additive of water requirements and time period of the cement setting. The regularities are considered as a pre-requisite for relevant changes in molding properties of the concrete mixes. The paper also experimentally substantiates the possibility to decrease temperature of cement concrete heating with the УКД-1 additive. It has been done with the purpose to save energy resources under production conditions. In addition to this the paper proves the efficiency of the additive which is expressed in strength increase of cement stone up to 20–40 % in the rated age (28 days) that is considered as a basis for strength growth of cement

concrete. The paper confirms a hypothesis on physical nature of this phenomenon because the X-ray phase analysis method has shown that there are no changes in morphology of portland cement hydration products under the action of the additive agent containing a structured carbon nanomaterial. Results of theoretical and experimental investigations on УКД-1 additive efficiency have been proved by industrial approbation while fabricating precast concrete products and construction of monolithic structures under plant industrial conditions (Minsk, SS "Stroyprogress" JSC MAPID) and on building sites (Mogilev, JSC Stroytrest No 12).

Keywords: complex chemical additive, cement, carbon nanomaterial.

Fig. 2. Tab. 4. Ref.: 18 titles.

Введение. Развитие в последние годы технологии получения ультрадисперсных наноматериалов и, в частности, углеродных наноматериалов (УНМ) в Беларуси [1–3], понижение стоимости их производства поставили на повестку дня необходимость перехода от изучения их свойств к практическому применению [4–10]. Особенностью влияния УНМ на цементные системы является их эффективность при малых дозировках, соответствующих 0,0005–0,0500 % от массы цемента (МЦ). Решая проблему введения в бетон малых количеств твердофазного порошкообразного вещества, установили, что один из наиболее рациональных вариантов – предварительное совмещение их с иными твердофазными химически активными веществами – добавками в бетон, поверхность частиц которых заряжена отрицательно и способна адсорбционно удерживать вещество УНМ. В таком случае при контакте с водой обеспечивается равномерное распределение его в объеме жидкости и приготавливаемого бетона. Введенное таким образом в бетон вещество УНМ будет дополнять эффективность добавки собственно проявляемым эффектом роста прочности цементного камня и бетона [6, 8–10]. В итоге была разработана, прошла установленную процедуру утверждения и в Беларуси освоен выпуск добавки для цементных бетонов и растворов с комплексным пластифицирующим и ускоряющим твердение эффектом – УКД-1, содержащей в своем составе отечественный углеродный наноматериал. Следует отметить, что, несмотря на значительную насыщенность современного рынка Беларуси химическими добавками для бетона, их совершенствование с позиций снижения трудовых, энергетических затрат в строительной отрасли и повышения качественных характеристик бетона представляет собой актуальную и не теряющую со временем практическую значимость задачу. Этой цели соответствуют исследуемая добавка и проявляемая ею эффективность при твердении цемента, отраженная в

материале настоящей статьи. С учетом того что добавка УКД-1 – это трехкомпонентное вещество, в исследованиях ставилась задача как оценки роли отдельных составляющих, так и влияния рационального сочетания их на свойства вяжущего, включая структурно-морфологические изменения в продуктах гидратации портландцемента.

Влияние добавки на схватывание цемента. Схватывание затворенного водой цемента (цементного теста) отражает процесс связывания жидкости частицами твердой фазы. В начальный период взаимодействия ее распределение в системе сольватных оболочек частиц (флоккул) цемента неравномерно, и миграция воды связана с проявлением электростатических сил поверхности вяжущего. Со временем в системе «цемент – вода» развивается процесс гидролиза-гидратации, который сопровождается «выходом» в объем жидкой фазы элементарных частиц вяжущего. Они, в свою очередь, адсорбируют некоторое количество молекул воды, образуя собственную оболочку из ее тончайших слоев.

Углубление процесса гидратации вяжущего сопровождается постепенным связыванием воды твердой фазой как физическим (адсорбция поверхностью), так и химическим путем (образование новых фаз – этtringита, гидроксида кальция, гидроалюминатов кальция). С течением времени вся жидкость переходит из свободного в связанное состояние, и взаимное расположение частиц твердой фазы (включая непрореагировавшие к этому времени «ядра» взаимодействующих с водой частиц цемента) фиксируется за счет появления в зонах контакта сольватных оболочек связей между накопившимися в жидкости элементарными частицами новых фаз (новообразованиями). Эти силы незначительны, но достаточны для того, чтобы цементное тесто утратило способность к пластическим деформациям, т. е. схватилось, а его структура приобрела способность удерживать приданную форму.

Дальнейшее развитие процесса гидратации вяжущего сопровождается резким ускорением образования новых фаз, роста плотности их взаимной «упаковки» и прочности цементного камня. То есть явление схватывания – процесс формирования и становления коагуляционной структуры цементного теста – переходит в процесс твердения, который характеризуется постепенным образованием структуры кристаллогидратных новообразований из гидросиликатов, алюминатов и ферритов клинкерных минералов портландцемента [11, 12]. Следовало установить степень влияния на эти процессы добавки УКД-1, включающей ускоряющий твердение цементного бетона и пластифицирующий компоненты в сочетании с ультрадисперсным твердофазным углеродным наноматериалом, так как для практической работы с бетоном необходимо знать период времени, предшествующий схватыванию (когда бетонная смесь на портландцементе достаточно устойчиво сохраняет формовочные свойства) и называемый индукционным.

Особенность комплексной добавки заключается в том, что ускоряющий твердение бетона компонент является «истинным» электролитом. Его ионы активно влияют на развитие (ускорение) процесса гидролиза клинкерных минералов, способствуют дезагрегации цементных флоккул, интенсифицируют процесс образования новых фаз [13–15]. В результате сокращается продолжительность индукционного периода, ускоряются схватывание и потеря формовочных свойств бетонной смеси. Пластифицирующий компонент содержит в своем составе поверхностно-активные вещества, адсорбция молекул которых поверхностью вяжущего (при оптимальных дозировках – у ее активных центров), наоборот, приводит к торможению гидратационного процесса и

увеличению сроков схватывания цементного теста и бетона. Влияние УНМ на сроки схватывания цемента, согласно [8], проявляется в незначительном (2–6 %) их сокращении.

Итоговое влияние комплексной добавки УКД-1 на сроки схватывания цементов разных групп активности при пропаривании, производимом отечественными заводами (табл. 1), отражено данными (приведены частично) табл. 2. Результаты экспериментов, означенные составом УКД-1, относятся к производственному соотношению ее компонентов, остальные отражают результаты поиска их оптимального соотношения. Очевидно, что комплексная пластифицирующе-ускоряющая твердение добавка оказывает неоднозначное влияние на сроки схватывания цемента. Так, при неизменном количестве воды затворения в пластифицированном тесте начало и конец схватывания цемента несколько отодвигаются во времени с ростом содержания компонента – суперпластификатора (СП) в комплексной добавке. При этом сроки схватывания цемента с комплексной добавкой во всех случаях меньше, чем с монодобавкой СП, но больше, чем с монодобавкой ускорителя твердения (сульфата натрия, или СН; в статье эти данные не приводятся). Снижение количества воды затворения до получения цементного теста нормальной густоты (т. е. при сохранении пластичности – const; данные 1*, 3*, 5*, 6*) сопровождается сокращением срока начала схватывания примерно на (15–25) % относительно цемента без добавок. При этом абсолютная величина сроков начала схватывания цементов групп 1 и 2 эффективности (№ 1, 5 и № 3, 6 соответственно) с комплексной добавкой 1³⁰–2³⁰ (ч, мин) на исследованных цементах удовлетворяет нормативным требованиям (не менее 45 мин).

Таблица 1

Характеристики цементов, использованных в исследованиях

№ п/п	Завод-изготовитель	Марка цемента	Группа активности при пропаривании	Минералогический состав, %				$K_{нг}$	Срок схватывания, ч, мин	
				C ₃ S	C ₃ A	C ₂ S	C ₄ АГ		Начало	Конец
1	БЦЗ	M500-Д0	1	60	7,3	15	11,5	0,255	2 ⁰⁵	3 ¹⁰
2	БЦЗ	M400-Д0	1	56	6,5	18	13	0,265	2 ¹⁰	3 ²⁰
3	Кричевцементношифер	M500-Д0	2	54	5	21	16	0,260	3 ¹⁵	5 ¹⁰
4		M400-Д20	3	51	4,5	26	15	0,270	3 ²⁰	5 ¹⁰
5	Красносельскцемент	M500-Д0	1	55	4,7	20	15	0,255	2 ⁰⁵	3 ¹⁷
6		M500-Д20	2	53	3,3	23	15,7	0,250	2 ³⁵	3 ⁵⁵
7	То же	M400-Д20	2	52	3,8	22	17,5	0,265	2 ³⁰	3 ⁴⁰

Таблица 2

Влияние комплексной добавки на сроки схватывания цемента

№ цемента по табл. 1	Состав ** комплексной добавки «СП + СН», % от МЦ по сухому веществу	Срок схватывания цемента, ч, мин		Изменение начала схватывания, % от исходного по табл. 1
		Начало	Конец	
1	0,3 + 0,5	1 ⁵⁸	2 ⁵⁹	–6
1	0,4 + 0,5	2 ¹⁰	3 ¹¹	+4
1	0,5 + 0,5	2 ²⁰	3 ²³	+12
1	УКД-1	2 ⁰⁵	2 ⁴⁵	0
1*	0,5 + 0,5	1 ³²	2 ¹⁰	–26
1*	УКД-1	1 ⁴⁰	2 ¹⁵	–20
3	0,5 + 0,5	3 ¹³	3 ⁵⁵	–1
3*	0,5 + 0,5	2 ³⁶	3 ⁰⁵	–20
3*	УКД-1	2 ⁴⁵	3 ⁰⁰	–15
5	0,5 + 0,5	2 ¹²	3 ²⁴	+6
5*	0,5 + 0,5	1 ⁴⁵	2 ¹⁸	–16
5*	УКД-1	1 ⁴⁵	2 ²⁰	–16
6	0,5 + 0,5	2 ⁴⁰	3 ³⁰	+3
6*	0,5 + 0,5	2 ¹⁰	3 ⁰⁰	–16
6*	УКД-1	2 ⁰⁴	2 ⁵²	–17

1*, 3*, 5*, 6* – с уменьшением начального водосодержания до консистенции цементного теста, соответствующей тесту нормальной густоты.
 ** Доля УНМ составляла ~0,0005 % от МЦ, т. е. была постоянной (определено как минимально необходимое содержание при разработке добавки).

При этом добавка УКД-1 производственного состава практически не изменяет срока начала схватывания цементного теста без корректировки воды затворения и на 15–20 % сокращает время схватывания при уменьшении количества воды затворения (в экспериментах – на ~20 %) и сохранении постоянной консистенции цементного теста (на уровне нормальной густоты). Данное обстоятельство следует учитывать при работе с УКД-1, в частности с введением соответствующего поправочного коэффициента при оценке изменений подвижности приготавливаемой бетонной смеси.

Прочность и структурно-морфологические изменения в цементном камне. Исследования возможных структурно-морфологических изменений в продуктах гидратации цемента под влиянием вещества добавки УКД-1 выполняли на пробах (12 шт.) цементного камня, полученных измельчением его до порошкообразного состояния после испытаний образцов (20×20×20 мм) на прочность (сжатие). Данные (дозировка добавок – в % от массы цемента) этих испытаний (каждое значение – среднее среди не менее шести образцов), из которых очевидна эффективность (рост прочности на сжатие в 28 сут. – на 15–40 %) исследуемой добавки приведены в табл. 3.

Таблица 3

Относительная прочность, %, образцов цементного камня

№ состава	Расход, г (% от МЦ)				K _{нг}	ΔВ, г	Условия твердения		Прочность, % от R ₂₈ ^ц в возрасте, сут.			
	В	Ц	СН	СП			НВУ**	В воде	1	3	7	28
1	102	400	–	–	0,255	–	+	–	50	81	92	100
2	102	400	1,0 %	–	0,255	–	+	–	67	92	102	110
3	102	400	0,5 %	–	0,255	–	+	–	66	90	97	107
4	80	400	–	0,5 %	0,200	22	+	–	30	73	94	102
5	90	400	0,5 %	0,5 %	0,225	12	+	–	58	86	101	105
6*	102	400	–	–	0,255	–	+	–	52	87	93	101
7*	102	400	1,0 %	–	0,255	–	+	–	67	89	99	104
8*	102	400	0,5 %	–	0,255	–	+	–	66	86	99	103
9*	80	400	–	0,5 %	0,200	22	+	–	35	78	94	101
10*	90	400	0,5 %	0,5 %	0,225	12	+	–	59	89	101	105
11*	102	400	–	–	0,255	–	–	+	57	88	94	103
12*	102	400	1,0 %	–	0,255	–	–	+	68	89	101	109
13*	102	400	0,5 %	–	0,255	–	–	+	67	88	100	105
14*	80	400	–	0,5 %	0,200	22	–	+	37	80	95	107
15*	90	400	0,5 %	0,5 %	0,225	12	–	+	60	89	101	107
16*	90	400	1,0 % УКД-1		0,225	12	–	+	70	93	113	120
17	90	400	1,0 % УКД-1		0,225	12	–	+	70	108	127	145

* С нагревом за 1,5 ч до температуры 50 °С и остыванием в бачке (~22 °С): № 16 – после хранения УКД-1 в течение года в помещении, № 17 – 45–60 сут. после изготовления.
 ** Нормально-влажные условия.

Одновременно подтверждаются взаимосвязь и взаимозависимость становления коагуляционной структуры цементного теста (схватывание) с формированием и упрочнением кристаллогидратной структуры (твердение) цементного камня.

Так, замедление схватывания цементного теста добавкой СП сопровождается снижением темпа роста прочности цементного камня, даже несмотря на уменьшение водоцементного отношения (количества воды затворения). С учетом повышения при этом плотности и непроницаемости цементного камня (основы долговечности бетона) очевидно, что наибольший совокупный эффект следует ожидать от комплексной добавки, в частности такой, как УКД-1. Очевидно, что кратковременный разогрев цементного камня до температуры менее 50 °С не оказывает существенного влияния на прочность в проектном (28 сут.) воз-

расте, одновременно повышая ее в первые трое суток последующего твердения в нормально-влажных условиях и воде. Это существенно, так как одним из условий эффективности мало-энергоёмкой технологии монолитного бетона является повышение темпа роста его прочности в начальный период для ускорения оборота опалубки и повышения темпов строительства при обеспечении требуемой проектной прочности бетона возводимых (устраиваемых) конструкций.

Результаты исследований методом рентгенофазового анализа проб затвердевшего цементного камня, полученного без введения добавок, содержащего ускоритель твердения (СН), комплексную добавку (СН + СП) и УКД-1 (СН + СП + УНМ), свидетельствуют о том, что все пробы цементов имеют идентичный фазовый минералогический состав. В статье приведены частично – рис. 1, 2, табл. 4.

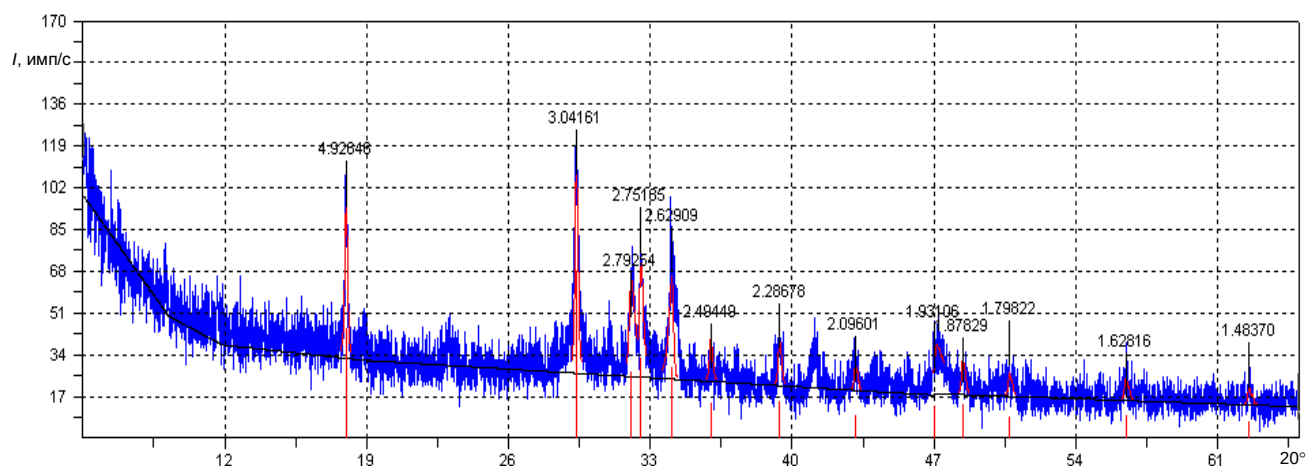


Рис. 1. Дифрактограмма пробы № 11 (исходный цемент, нагрев 1,5 ч до $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем – твердение в воде)

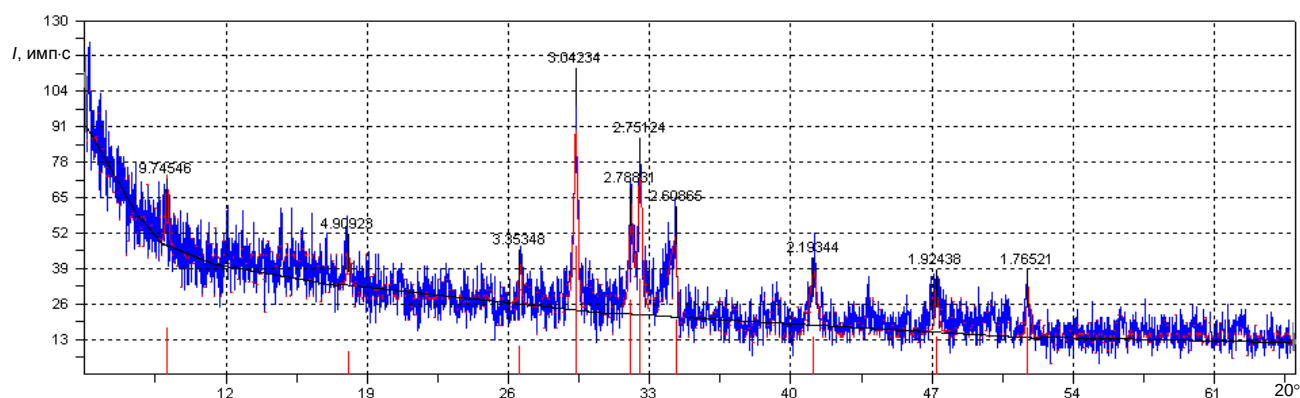


Рис. 2. Дифрактограмма пробы № 17 (добавка УКД-1, нагрев 1,5 ч до $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем – твердение в воде)

Таблица 4

Наличие минералов в исследуемых пробах в зависимости от условий твердения и содержания добавок

№ пробы	Добавка	Наличие минералов в пробах при различных условиях твердения							
		C-S-H (II)	C ₂ SH	C ₂ S ₃ H ₂	C ₂ S ₂ H ₃	C ₃ A · 3CaSO ₄ × × 32H ₂ O	Ca(OH) ₂	CaSO ₄ × × 2H ₂ O	CaSO ₄ × × 0,5H ₂ O
		Воздушно-сухие условия							
1	Исходный цемент	+	+	-	+	+	+	-	-
3	1,0 % Na ₂ SO ₄	-	+	-	+	+	+	-	-
5	0,5 % Na ₂ SO ₄ + 0,5 % C-3	+	+	+	+	+	+	-	+
Выдержка 1,5 ч при t = 50 °C, затем – воздушно-сухие условия									
6	Исходный цемент	-	+	-	+	+	+	+	-
8	1,0 % Na ₂ SO ₄	-	-	+	+	+	+	-	+
10	0,5 % Na ₂ SO ₄ + 0,5 % C-3	-	-	-	+	+	+	-	+
Выдержка 1,5 ч при t = 50 °C, затем – твердение в воде									
11	Исходный цемент	-	-	-	+	+	+	+	-
13	1,0 % Na ₂ SO ₄	-	+	-	-	+	+	-	-
15	0,5 % Na ₂ SO ₄ + 0,5 % C-3	-	+	-	+	+	+	-	-
16	УКД-1	+	-	-	+	+	+	-	-
17	УКД-1	+	+	+	+	+	+	-	-

Запись дифрактограмм проводили на рентгеновском дифрактометре «Дрон-7» при Cu-α-излучении, напряжение на трубке 30 кВ, ток 15 мА. На дифрактограммах всех проб имелись дифракционные отражения в рентгеновских спектрах, принадлежащие следующим фазам:

- алиту C₃S с межплоскостными расстояниями $d/n = 0,304; 0,299; 0,277; 0,274; 0,261; 0,232; 0,218... \text{ нм}$;
- белиту β-C₂S ($d/n = 0,305; 0,287; 0,281; 0,279; 0,274; 0,271; 0,260; 0,232... \text{ нм}$);
- трехкальциевому алюминату C₃A ($d/n = 0,305; 0,299; 0,278; 0,270; 0,220; 0,204... \text{ нм}$);
- четырехкальциевому алюмоферриту C₄AF ($d/n = 0,723; 0,270; 0,265; 0,217; 0,204... \text{ нм}$);
- портландиту Ca(OH)₂ ($d/n = 0,493; 0,311; 0,263... \text{ нм}$);
- этtringиту C₃A · 3CaSO₄ · 32H₂O ($d/n = 0,973; 0,561; 0,388... \text{ нм}$).

Кроме перечисленных выше минералов, в пробах содержались:

- гиллебрандит C₂SH ($d/n = 0,490; 0,313; 0,293... \text{ нм}$);
- риверсайдит C₂S₂H₃ ($d/n = 0,306; 0,298; 0,279... \text{ нм}$);
- гиrolит C₂S₃H₂ ($d/n = 0,96; 0,468; 0,336... \text{ нм}$);
- в пробах № 6 и 11 (исходный цемент) – гипс CaSO₄ · 2H₂O ($d/n = 0,756; 0,305; 0,286... \text{ нм}$);

- в пробах № 5, 8 и 10 – полугидрат CaSO₄ · 0,5H₂O ($d/n = 0,598; 0,298; 0,278... \text{ нм}$).

На основании анализа полученных данных можно сделать следующие выводы.

В рентгеновских спектрах всех проб присутствуют дифракционные отражения исходных клинкерных минералов: алита (C₃S), белита (β-C₂S), трехкальциевого алюмината (C₃A) и четырехкальциевого алюмоферрита (C₄AF). Причем интенсивность этих отражений уменьшается в пробах с добавками, что связано с их влиянием (углублением) на гидролизно-гидротационные процессы в твердеющем цементном камне. При этом во всех составах наименьшее количество клинкерных минералов наблюдается при твердении образцов в воде (пробы № 11–17).

Кроме исходных минералов, во всех пробах содержались портландит Ca(OH)₂ и этtringит C₃A · 3CaSO₄ · 32H₂O. Максимальное количество портландита (как отражение углубления гидратации C₃S и C₂S) содержалось в пробах № 11, 13, 15, которые твердели в воде (выдержка 1,5 ч при t = 50 °C, затем – твердение в воде). Минимальное количество портландита в пробах № 6, 8, 10 с режимом твердения: выдержка 1,5 ч при t = 50 °C, затем – воздушно-сухие условия, отражая ухудшение условий гидратации цемента. Максимальное количество этtringита (C₃A · 3CaSO₄ · 32H₂O) и тоберморитового геля (C-S-H (II)), гиллебрандита

(C_2S_3H) и гиrolита ($C_2S_3H_2$), т. е. соединений – продуктов реакций клинкерных минералов с водой, было в пробах № 16 и 17 (содержащих добавку УКД-1).

Минералы, образующиеся в исследуемых пробах в зависимости от условий твердения и содержания добавок, приведены в табл. 4. Обобщение полученных результатов рентгенофазового анализа проб в сочетании с данными дериватографического анализа (разложением проб цементного камня при нагреве от 20 до 1000 °С), результаты которого для цементного камня, содержащего углеродный наноматериал, приведены в [4, 6, 8], показывает следующее.

Во-первых, отсутствие химического взаимодействия УНМ добавки УКД-1 с продуктами гидролиза и гидратации клинкерных минералов, что подтверждается идентичностью фазового состава проб чистого цемента и содержащего добавку УКД-1, а также выводами, сделанными в [4, 6, 8] на основании дериватографии и рентгенофазового анализа проб цементного камня, содержащего УНМ и без него. Во-вторых, наличие в комплексной добавке ускорителя твердения Na_2SO_4 способствует росту количества образующегося в цементном камне этрингита $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$, гидрокристаллы которого примерно в 2,86 раза [15, 16] больше по объему, чем исходные составляющие его вещества, и способствуют уплотнению структуры на ранней стадии твердения цементного камня. И, в-третьих, снижение содержания (отражений) клинкерных минералов в пробах с добавкой УКД-1, по сравнению с пробами без добавки и с монодобавками СП и СН, свидетельствует о более глубоком развитии процессов гидролиза-гидратации цемента в присутствии данной добавки. Результатом является рост плотности и прочности цементного камня, а на этой основе – и цементного бетона.

С учетом изложенного следует считать обоснованным вывод, сформулированный в [4, 6, 8], о физической основе эффекта роста прочности цементного камня при введении в его состав ультрадисперсного УНМ. Обладая значительным потенциалом поверхности, частицы УНМ служат своеобразной подложкой (центрами кристаллизации) для ускоренного формирования кристаллогидратных новообразований в твердеющем цементном камне. А трубчатые УНМ, характеризующиеся размерами поперечных сечений, меньше размеров пор новообразований (пор геля) [15, 17, 18], и длиной, превышающей размеры образующихся

гидрокристаллов, обеспечивают специфическое наноармирование формирующейся из них структуры цементного камня. Сочетание этих эффектов способствует повышению темпа роста и уровня прочности цементного камня и цементного бетона [9, 10].

ВЫВОДЫ

1. Приведенные результаты теоретических исследований прошли производственную апробацию в форме оценки эффективности добавки УКД-1 при изготовлении сборных изделий (ОП «Стройпрогресс» ОАО МАПИД, г. Минск) и устройстве монолитных конструкций (ОАО «Стройтрест № 12», г. Могилев). По их результатам составлены соответствующие акты и протоколы, в которых сформулированы следующие выводы. УКД-1 соответствует заявленным функциональным свойствам ускоряющей твердение бетона добавки с пластифицирующим эффектом и по эффективности в бетоне, выраженной в обеспечении его прочности и формовости бетонной смеси, не уступает добавкам первой группы – суперпластификаторам (по СТБ 1112–98).

2. Подтвержден рекомендуемый малоэнергетический режим тепловой обработки изделий, включающий подъем температуры до ~50 °С за период времени 1,5–2 ч при последующем твердении бетона без подвода теплоты (горячий термос) в течение 10–12 ч, с обеспечением прочности бетона (70–80) % и более от проектной.

3. С учетом подтверждения эффективности, полученной в производственных условиях, добавка УКД-1 может быть рекомендована к применению при производстве сборных бетонных и железобетонных изделий и при ведении бетонных работ в монолитном строительстве. При этом экономическая эффективность добавки УКД-1 складывается из уменьшения расхода энергии на прогрев бетона и ускорения оборота опалубок с учетом более высокого темпа роста его прочности, а также из возможности снижения на (5–15) % расхода цемента при сохранении прочности бетона на исходном уровне.

4. По результатам комплексно выполненных теоретических, экспериментальных исследований и производственной апробации разработан технологический регламент на применение добавки УКД-1 в цементном бетоне и железобетоне, обеспечивающий необходимые условия для эффективного ведения бетонных работ с ее применением.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Zhdanok, S. A.** // Fifth ISTC Scientific Advisory Committee Seminar "Nanotechnologies in the Area of Physics, Chemistry and Biotechnology", St. Petersburg, 27–29 May 2002. – St. Petersburg: Ioffe Institute, 2002.
2. **Установка** для получения углеродных наноматериалов: пат. № U 2839 Респ. Беларусь: МПК В82В 3/00 / С. А. Жданок, А. В. Крауклис, П. П. Самцов, В. М. Волжанкин; дата публ.: 30.06.2006.
3. **Плазмохимический** реактор конверсии углеводородов в электрическом разряде: пат. № U 3125 Респ. Беларусь: МПК В01J 19/00 / С. А. Жданок, П. П. Самцов, А. В. Крауклис, К. О. Борисевич, А. В. Суворов; дата публ.: 30.10.2006.
4. **Нанотехнологии** в строительном материаловедении: реальность и перспективы / С. А. Жданок [и др.] // Вестник БНТУ. – 2009. – № 3. – С. 5–22.
5. **Батяновский, Э. И.** Направления исследований эффективности графитных наноматериалов в тяжелом бетоне / Э. И. Батяновский, П. В. Рябчиков // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. трудов XV Междунар. науч.-метод. семинара, Новополоцк, 27–28 нояб. 2008 г.: в 2 т. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – Т. 2.
6. **Батяновский, Э. И.** Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента / Э. И. Батяновский, П. В. Рябчиков, В. Д. Якимович // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. трудов XVI Междунар. науч.-метод. семинара, Брест, 28–30 мая 2009 г.: в 2 ч. – Брест: БрГТУ, 2009. – Ч. 2. – С. 136.
7. **Батяновский, Э. И.** Нанотехнология и углеродные наноматериалы в строительном материаловедении / Э. И. Батяновский, П. В. Рябчиков, В. Д. Якимович // Строительная наука и техника. – 2009. – № 3. – С. 22–29.
8. **Влияние** углеродных наноматериалов на свойства цемента и цементного камня / Э. И. Батяновский [и др.] // Строительная наука и техника. – 2010. – № 1–2 (28–29). – С. 3–10.
9. **Батяновский, Э. И.** Особенности технологии высокопрочного бетона на отечественных материалах, включая наноуглеродные добавки / Э. И. Батяновский, В. Д. Якимович, П. В. Рябчиков // Проблемы современного бетона и железобетона: материалы III Междунар. симпозиума, Минск, 9–11 нояб. 2011 г.: в 2 т. – Минск: Минсктиппроект, 2011. – Т. 2. – С. 53–68.
10. **Батяновский Э. И.** Особенности применения углеродных наноматериалов в конструкционно-теплоизоляционных пенобетонах / Э. И. Батяновский, Г. С. Галузо, М. М. Мордич // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. – Минск: БНТУ, 2011 – Т. 2. – С. 272–273.
11. **Ахвердов, И. Н.** Высокопрочный бетон / И. Н. Ахвердов. – М.: Госстройиздат, 1961. – 106 с.
12. **Ахвердов, И. Н.** Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
13. **Ратников, В. Б.** Добавки в бетон / В. Б. Ратников, Т. И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – 186 с.
14. **Батраков, В. Г.** Модифицированные бетоны / В. Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1990. – 400 с.
15. **Тейлор, К.** Химия цемента: пер. с англ. / К. Тейлор. – М.: МИР, 1986. – С. 418–429.

16. **Рояк, С. М.** Специальные цементы / С. М. Рояк, Г. С. Рояк. – М.: Стройиздат, 1969. – 270 с.

17. **Горчаков, Г. И.** Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений / Г. И. Горчаков, М. М. Капкин, Б. Г. Скрамтаев. – М.: Стройиздат, 1965. – 194 с.

18. **Шейкин, А. Е.** Структура и свойства цементных бетонов / А. Е. Шейкин, Ю. В. Чеховский, М. И. Брусер. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.

REFERENCES

1. **Zhdanok, S. A.** (2002) *Fifth ISTC Scientific Advisory Committee Seminar "Nanotechnologies in the Area of Physics, Chemistry and Biotechnology"*, 27–29 May, 2002. St. Petersburg.
2. **Zhdanok, S. A., Krauklis, A. V., Samtsov, P. P., & Volzhankin, V. M.** (2006) *Carbon Nanomaterial Plant*. Patent Republic of Belarus No U 2839. (in Russian).
3. **Zhdanok, S. A., Samtsov, P. P., Krauklis, A. V., Borisevich, K. O., & Suvorov, A. V.** (2006) *Plasma-Chemical Reactor for Hydrocarbon Conversion in Electrical Discharge*. Patent Republic of Belarus No U 3125. (in Russian).
4. **Zhdanok, S. A., Khrustalev, B. M., Batianovskii, E. I., & Leonovich, S. N.** (2009) *Nanotechnologies in Construction Material Science: Reality and Prospects*. *Vestnik BNTU* [Bulletin of the Belarusian National Technical University], 3, 5–22 (in Russian).
5. **Batianovsky, E. I., & Riabchikov, P. V.** (2008) *Directions in Investigation of Graphite Nanomaterial Efficiency in Heavy Concrete. Perspektivy Razvitiia Novykh Tekhnologii v Stroitel'stve i Podgotovke Inzhenernykh Kadrov Respubliki Belarus'. Sb. Trudov XV Mezhdunar. Nauch.-Metod. Seminara. T. 2* [Prospects for Development of New Technologies in Construction and Training of Engineering Personnel in the Republic of Belarus. Collected Papers of 15th International Scientific and Methodical Workshop. Vol. 2]. Novopolotsk: Polotsk State University (in Russian).
6. **Batianovsky, E. I., Riabchikov, P. V., & Yakimovich, V. D.** (2009) *Influence of Carbon Nanomaterials on Concrete Properties. Perspektivy Razvitiia Novykh Tekhnologii v Stroitel'stve i Podgotovke Inzhenernykh Kadrov Respubliki Belarus'. Sb. Trudov XVI Mezhdunar. Nauch.-Metod. Seminara. Chast' 2* [Prospects for Development of New Technologies in Construction and Training of Engineering Personnel in the Republic of Belarus. Collected Papers of 16th International Scientific and Methodical Workshop. Part. 2.]. Brest: BrSTU [Brest State Technical University], 136 (in Russian).
7. **Batianovsky, E. I., Riabchikov, P. V., & Yakimovich, V. D.** (2009) *Nanotechnology and Carbon Nanomaterials in Construction Material Science. Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Construction Science and Equipment], 3, 22–29 (in Russian).
8. **Batianovsky, E. I., Krauklis, A. V., Riabchikov, P. V., & Samtsov, P. P.** (2010) *Influence of Carbon Nanomaterials on Cement and Cement Stone Properties. Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Construction Science and Equipment], 1–2 (28–29), 3–10 (in Russian).
9. **Batianovsky, E. I., Yakimovich, V. D., & Riabchikov, P. V.** (2011) *Specific Features of Technology for High-Strength Concrete on the Basis of Domestic Materials Including Nanocarbon Additives. Problemy Sovremennogo Betona i Zhelezobetona. Materialy III Mezhdunarodnogo Simpoziuma. T. 2* [Problems of Modern Concrete and Reinforced Concrete. Collected papers of 3rd International Symposium. Vol. 2]. Minsk, Minsktiproekt, 53–68 (in Russian).

10. **Batianovsky, E. I.**, Galuzo, G. S., & Mordich, M. M. (2011) Peculiar Features in Application of Carbon Nanomaterials in Structural and Heat Insulating Foam Concrete. *Nauka – Obrazovaniiu, Proizvodstvu, Ekonomike. Materialy Deviatoi Mezhdunarodnoi Nauchno-Tekhnicheskoi Konferentsii. T. 2* [Science to Education, Industry, Economics. Proceedings of 9th International Science and Technical Conference. Vol. 2]. Minsk: BNTU, 272–273 (in Russian).
11. **Akhverdov, I. N.** (1961) *High-Strength Concrete*. Moscow, Gosstroyizdat. 106 p. (in Russian).
12. **Akhverdov, I. N.** (1981) *Fundamentals of Concrete Physics*. Moscow, Stroiizdat. 464 p. (in Russian).
13. **Ratnikov, V. B.**, & Rozenberg, T. I. (1989) *Concrete Additives*. Moscow, Stroyizdat. 186 p. (in Russian).
14. **Batrakov, V. G.** (1990) *Modified Concrete*. Moscow, Stroyizdat. 400 p. (in Russian).

15. **Taylor, H. F. W.** (1990) *Cement Chemistry*. 2nd ed. London, Academic Press. 410 p. (Russ. ed.: Taylor, K. (1986). *Khimiia Tsementa*. Moscow, Mir, 418–429).
16. **Royak, S. M.**, & Royak, G. S. (1969) *Special Cement*. Moscow, Stroyizdat. 270 p. (in Russian).
17. **Gorchakov, G. I.**, Kapkin, M. M., & Skramtaev, B. G. (1965) *Improvement of Concrete Freeze-Thaw Resistance in Structures of Industrial and Hydroengineering*. Moscow, Stroyizdat. 194 p. (in Russian).
18. **Sheikin, A. E.**, Tchekhovskiy, Yu. V., & Brusser, M. I. (1979) *Structure and Properties of Cement Concrete*. Moscow, Stroyizdat. 344 p. (in Russian).

Поступила 14.07.2014

УДК 528.5

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА ДЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СЪЕМКИ ЛИФТОВЫХ ШАХТ

Канд. техн. наук, проф. **НЕСТЕРЕНКО М. С.¹⁾**, инж. **ВЕКСИН В. Н.²⁾**

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

²⁾УП «Геокарт»

E-mail: vfnest@gmail.com

Поэтажная съемка смонтированных элементов лифтовой шахты координатным методом при помощи тахеометра затруднена необходимостью выноса точки установки прибора на перекрытия каждого монтажного горизонта, что в условиях законченного каркаса здания при наличии множества ситуационных помех приводит к дополнительным измерениям и как следствие к большим затратам времени и снижению точности получаемых результатов. Технические возможности современного электронного тахеометра значительно упрощают выполнение этой задачи, поскольку прибор можно использовать не только в функции вертикального проецирования, но и для исполнительной съемки лифтовой шахты усовершенствованным полярным способом. При реализации данного способа электронный тахеометр, снабженный диагональным окуляром, устанавливают над опорным знаком в приямке шахты, а контрольные точки лифтовой шахты определяют посредством специально сконструированной переносной марки-светоотражателя в виде диска радиусом r , который закреплен на стержне-ручке и ориентируется перпендикулярно лазерному лучу. С применением данной марки разработана инновационная схема исполнительной съемки лифтовых шахт, отличающаяся высокой эффективностью, которая состоит в том, что с одной установки тахеометра выполняется высокоточная, полная планово-высотная съемка всего лифтового ствола, включая дверные проемы, их пороги и откосы.

Предложен новый способ исполнительной съемки лифтовых шахт посредством электронного тахеометра с применением специально разработанной светоотражающей марки, обеспечивающей геометрическую привязку одной или одновременно двух точек съемки к пространственной системе координат, в которой ведется исполнительная съемка. Способ характеризуется высокой геометрической точностью и технологической эффективностью.

Ключевые слова: электронный тахеометр, исполнительная съемка, лифтовая шахта.

Ил. 4. Библиогр.: 3 назв.

APPLICATION OF ELECTRONIC TACHEOMETER FOR PRE- AND POST-CONSTRUCTION SURVEY OF ELEVATOR SHAFT

NESTERIONOK M. S.¹⁾, **VEKSIN V. N.²⁾**

¹⁾Belarusian National technical University,

²⁾UE “Geokart”

Floor-by-floor survey of installed elements of an elevator shaft using coordinate method and tacheometer is also inhibited by the necessity to determine device installation points for floors of every mounting horizon that leads to additional measurements due to conditions of the completed building framework and presence of a great number of situational disturbances and

then it entails significant time expenditure and diminution of accuracy in the obtained results. Technical capabilities of the modern electronic tacheometer substantially simplify an accomplishment of the mission because the device can be applied not only in function of vertical projection but it can be used for pre- and post-construction survey of the elevator shaft with the help of advanced radiation method. While using the given method the electronic tacheometer equipped with diagonal ocular is installed over a bearing sign in the elevator pit and control points of the elevator shaft are determined with the help of specially developed portable beam deflector in the form of disc with radius r , which is fixed to a handle rod and orientated perpendicularly to a laser beam. An innovation diagram for pre- and post-construction survey of elevator shaft has been developed while applying this type of deflector. The diagram is characterized by high efficiency due to the fact that one tacheometer installation makes it possible to execute highly accurate, complete plane and high-level surveying of the whole elevator shaft including doorways, door sills and jambs.

The paper proposes a new method for pre and post construction survey of the elevator shaft using the electronic tacheometer while applying specially developed beam deflector that ensures a geometric fixing of one or simultaneously two surveying points to spatial coordinate system where the pre- and post-construction survey is carried out. The method is characterized by high geometric accuracy and technological efficiency.

Keywords: electronic tacheometer, pre- and post-construction survey, elevator shaft.

Fig. 4. Ref.: 3 titles.

Исполнительная съемка лифтовой шахты относится к наиболее трудоемким видам геодезических работ в строительстве. Широкоизвестные способы такой съемки основаны на провешивании ствола лифтовой шахты нитяными (струнными) отвесами или зенит-приборами – как оптическими, так и лазерными [1]. Такие способы связаны с необходимостью устройства подмостей на каждом этаже, использованием двух и более струн или зенит-приборов, при этом в случае применения отвесов возникает необходимость их успокоения достаточно сложными способами.

Позатяжная съемка смонтированных элементов лифтовой шахты координатным методом при помощи тахеометра также затруднена необходимостью выноса точки установки прибора на перекрытия каждого монтажного горизонта, что в условиях законченного каркаса здания при наличии множества ситуационных помех приводит к дополнительным измерениям и как следствие к большим затратам времени и снижению точности получаемых результатов [2, 3].

Технические возможности современного электронного тахеометра значительно упрощают выполнение этой задачи, поскольку прибор можно использовать не только в функции вертикального проецирования, но и для исполнительной съемки лифтовой шахты усовершенствованным полярным способом, рассмотренным в статье. При реализации данного способа электронный тахеометр, снабженный диагональным окуляром (рис. 1), устанавливают над опорным знаком в приямке шахты, а контрольные точки лифтовой шахты определяют посредством специально сконструированной В. Н. Вексиным переносной марки-светоотражателя в виде диска радиусом r (рис. 2), который закреплен на стержне-ручке и ориентируется перпендикулярно лазерному лучу. С применением данной марки разработана инновационная схема исполнительной съемки лифтовых шахт, отличающаяся высокой эффективностью, которая состоит в том, что с одной установки тахеометра выполняется высокоточная, полная планово-высотная съемка всего лифтового ствола (рис. 3), включая дверные проемы, их пороги и откосы.



Рис. 1. Электронный тахеометр в положении измерения зенитных углов



Рис. 2. Переносная светоотражательная диск-марка

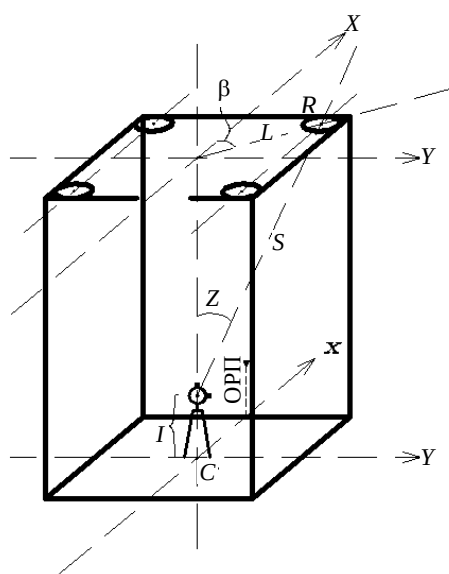


Рис. 3. Пространственная схема тахеометрической съемки ствола лифтовой шахты

Достигнуты следующие условия реализации высоких показателей точности и эффективности рассматриваемого метода геодезической съемки лифтовой шахты:

- устранено непосредственное наведение визирного и лазерного лучей на поверхности стен шахты под острыми углами и тем самым убраны значительные погрешности в результатах измерения углов и расстояний, возникающие вследствие размывания точки отражения лазерного луча, а также погрешности, появляющиеся за счет местных неровностей стен и несоосности визирной оси тахеометра и оси лазерного дальномера;

- ликвидировано прохождение визирного луча по касательной, близкой к поверхности стен, и соответственно уменьшены его рефракционные искривления, т. е. обеспечена высокая точность измерения вертикальных углов;

- светоотражательная марка, центрированная на диске, позволяет в одну установку помещать ее в углах шахты на фиксированном расстоянии r от каждой из двух сходящихся стен, при этом одновременно определяются координаты двух их точек, например A_1 и A_2 при установке марки в угол E (рис. 4).

После центрирования тахеометра на полу прямка над точкой, привязанной к осям шахты, визирную марку R удерживают горизонтально и касаются ее круглым краем стен внут-

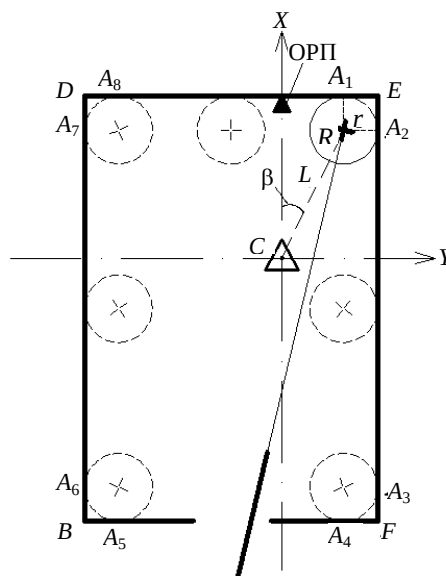


Рис. 4. Схема поэтажной съемки лифтовой шахты в плане

ри лифтового ствола в точках, выбранных для съемки. Зрительной трубой тахеометра визируют на центр марки, измеряют горизонтальный угол β , вертикальный угол Z и наклонное расстояние S . Дальномерные измерения могут выполняться как в отражательном, так и в безотражательном режиме.

Обработка результатов съемки сводится к получению координат точек B , D , E и F , представляющих вершины внутренних углов шахты на данном монтажном горизонте. Расчеты координат, как видно из рис. 3, достаточно несложны и могут выполняться по-разному. Приведем для примера один из них. На первом этапе обработки получаем координаты точек A_i касания маркой внутренних стен лифтовой шахты по формулам:

$$\left. \begin{aligned} X_{Ai} &= X_{Ri} \pm r; \\ Y_{Ai} &= Y_{Ri} \pm r; \\ H_{Ai} &= H_{Ri} = H_0 + I + S_i \cos Z_i, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $X_{Ri} = X_C + L_i \cos \beta_i$; $Y_{Ri} = Y_C + L_i \sin \beta_i$; $L_i = S_i \sin Z_i$; H_0 – высотная отметка опорной точки C ; S – расстояние, измеренное светодальномером; I – высота тахеометра над опорной точкой; β , Z – соответственно дирекционный и зенитный углы центра диск-марки относительно тахеометра.

На втором этапе обработки получаем координаты углов лифтовой шахты из решения об-

ратной геодезической задачи между соответствующими парами точек R_i и прямой геодезической задачи на точки A_i (рис. 4). Погрешность определения координат угловых точек A_i оценивается по формуле

$$m_{xyA}^2 = [(S \sin Z) m_Z / \rho]^2 + + [(S \cos Z) m_\beta / \rho]^2 + m_A^2 + m_n^2, \quad (2)$$

где первое слагаемое правой части выражает погрешность определения расстояния L , второе – погрешность планового положения диск-марки за счет погрешности измерения дирекционного угла β ; m_A – погрешность центрирования прибора над исходным пунктом A ; m_n – погрешность определения положения точки A_i за счет местной микронеровности поверхности стены.

При $S = 50$ м; $Z = 1,2^\circ$; $m_Z = 3''$; $m_\beta = 5''$; $m_A = 1,0$ мм; $m_B = 1,5$ мм по формуле (2) определяем $m_{xyA} = \pm 2,5$ мм, при этом согласно ТКП 45-1.03-26–2006, допустимая погрешность проецирования точек внутренней разбивочной основы на высоту 50 м составляет $\pm 2,5$ мм. Следовательно, рассматриваемый электронный тахеометр обеспечивает нормативную точность исполнительной съемки лифтовых шахт.

При необходимости получения более детальной информации о геометрии шахты съемку можно дополнить установкой марки в других точках стен. Для облегчения процесса визирования и наведения на марку последнюю целесообразно снабдить подсветкой. В целях соблюдения правил безопасности труда визирная вежа с маркой должна крепиться страховочным ремнем (тросом, фалом и т. п.) к работнику, устанавливающему марку внутри лифтовой шахты. Для реализации данного способа лифтовая шахта должна быть освобождена от подмостей, перекрывающих прямую видимость от приямка до крыши.

ВЫВОД

Предложен новый способ исполнительной съемки лифтовых шахт посредством электронного тахеометра с применением специально разработанной светоотражающей марки, обеспечивающей геометрическую привязку одной или одновременно двух точек съемки к пространственной системе координат, в которой ведется исполнительная съемка. Способ характеризуется высокой геометрической точностью и технологической эффективностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. **ГОСТ 22845–85.** Лифты электрические пассажирские и грузовые. Правила организации, производства и приемки монтажных работ. – Взамен ГОСТ 2285–77; введ. 01.01.86. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 18 с.
2. **Способ** производства координатных исполнительных съемок: пат. 2267745 Российской Федерации: МПК G01C7/02; E04B1/18 / Н. М. Хакимуллин, Р. А. Самитов, Р. Р. Камаев, Д. С. Зайнутдинов, Н. С. Юсупов, Р. Н. Хакимуллин; дата публ.: 10.01.2006.
3. **Назаров, И. А.** Исследование влияния на точность измерения безотражательным электронным тахеометром угла падения лазерного луча и отражающих свойств поверхности / И. А. Назаров // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI в. – 2007. – № 2. – С. 72–73.

REFERENCES

1. **State Standard 22845–85.** Electric Passenger and Service Elevators. Rules and Regulations for Organization, Execution and Acceptance of Installation Works. Moscow, Publisher standards, 1985. 18 p. (in Russian).
2. **Khakimullin, N. M.,** Samitov, R. A., Kamaev, R. R., Zainutdinov, D. S., Iusupov, N. S., & Khakimullin, R. N. (2006) *Method for Execution of Coordinate Pre- and Post-Construction Survey*. Patent RF No 2267745 (in Russian).
3. **Nazarov, I. A.** (2007) Investigation of Influence of Laser Beam Tilt Angle and Surface Reflecting Properties on Measuring Accuracy While Using Refractorless Electronic Tacheometer. *Stroitel'nye Materialy, Oborudovanie, Tekhnologii XXI Veka* [Building Materials, Equipment, Technologies of XXI Century], 2, 72–73 (in Russian).

Поступила 08.04.2014

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КРЕНА БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ

*Канд. геогр. наук, доц. МИХАЙЛОВ В. И.¹⁾,
инженеры КОНОНОВИЧ С. И.²⁾, ЧИБЕРКУС Ю. Н.²⁾*

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

²⁾ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам»

E-mail: s_konon@list.ru

Современные тенденции оценки деформационного состояния высотных сооружений – это создание автоматизированного, постоянно действующего мониторинга с использованием высокоточных систем космического позиционирования (GPS-систем), роботизированных электронных тахеометров, высокоточных инклинометров (типа Leica Nivel210/Nivel220), с точностью измерения угла наклона 0,09 с, программного комплекса Geomos (Leica Geosystems). Автоматизированная система деформационного мониторинга требует значительных временных и материальных затрат, специального обучения специалистов, поэтому не утратили своей актуальности и более простые способы и критерии оценки деформационного состояния сооружений.

Существует более десяти традиционных способов определения крена сооружений. В их основе лежат угловые измерения с фиксированного базиса с использованием высокоточных теодолитов. Они являются весьма трудоемкими и не обеспечивают оперативность и точность измерений. Появление электронных тахеометров с большим радиусом безотражательных измерений расстояний позволило вычислять координаты на поверхности сооружения с большой точностью и на разных сечениях (высотах), в результате чего стало возможным получать трехмерную модель поверхности сооружения. Для определения величины крена вытяжной трубы высотой 150 м электронный тахеометр Leica TCRA1201 устанавливали на точке с хорошей видимостью башенного сооружения, определяли ориентирование прибора и плановые координаты временного пункта. Затем на каждом сечении трубы измеряли трехмерные координаты шести точек поверхности сооружения. Далее эти точки проецировали на горизонтальную плоскость. Обработку и интерпретацию геодезических данных выполняли в программном комплексе LISCAD PLUS.

Предлагаемый способ позволяет с одной точки стояния тахеометра получать данные для определения величины и направления крена башенных сооружений, оперативно выполнять натурные измерения и получать окончательные результаты в автоматизированном режиме программного комплекса LISCAD PLUS, не требует предварительной закладки и последующей сохранности опорных геодезических пунктов (базисов), применим для различной конфигурации башенных сооружений.

Ключевые слова: сооружения башенного типа, электронный тахеометр, программный комплекс LISCAD PLUS.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 10 назв.

EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF TOWER CONSTRUCTION TILT USING ELECTRONIC TACHEOMETER

MIKHAILOV V. I.¹⁾, KONONOVICH S. I.²⁾, TCHIBERKUS Yu. N.²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University,

²⁾SSIA "Scientific and Practical Center of the NAS of Belarus for Bioresources"

Modern tendencies for assessment of high-rise building deformation state presuppose creation of automated and regular monitoring while using highly-accurate space positioning systems (GPS-systems), a robotic electronic tacheometer, highly-accurate inclinators (Leica Nivel210/Nivel220-model) with measuring accuracy of tilt angle up to 0.09 s, Geomos software complex (Leica Geosystems). Automated system for deformation monitoring requires significant time and material expenditures, special training of specialists so simpler methods and criteria for assessment of building deformation state are also considered as rather actual for this purpose.

There are more than ten conventional methods for determining building tilt. All these methods are based on angular measurements from the fixed base while using highly-accurate theodolites. The methods are rather labor-consuming and they do not provide operational efficiency and accuracy in measurements. Introduction of electronic tacheometers with large radius of refractorless measurements of distances has made it possible to calculate coordinates on the building surface with high accuracy and at various sections (heights) that results in possibility to obtain 3D model of the building surface. Leica TCRA1201 tacheometer has been set at the good visibility point of a tower construction, device orientation and plane coordinates of the temporary point have been determined with the purpose to assess a tilt value of an exhaust stack having 150 meter height. Then 3D coordinates of six points on the building surface have been measured for every stack section. After that

these points have been projected on the horizontal plane. LISCAD PLUS software complex has been used for processing and interpretation of geodetic data.

The proposed method permits to obtain data for determination value and direction of a tower construction tilt, immediately carry out in-situ measurements and obtain final results in the automatic mode of LISCAD PLUS software complex using only one point of the tachometer setting. The method does not require any preliminary laying and subsequent preservation of fundamental geodetic points (bases) and it can be applied for any configuration of tower constructions.

Keywords: tower construction, electronic tachometer, LISCAD PLUS software complex.

Fig. 3. Tab. 1. Ref.: 10 titles.

Объекты башенного типа (дымовые трубы, ректификационные колонны, грануляционные башни, радиотелевизионные антенные опоры и др.) являются одними из самых ответственных инженерных сооружений. При проведении строительных работ, в процессе эксплуатации из-за неравномерной осадки или других причин все сооружения могут испытывать деформации. Кроме этого, деформации проявляются из-за некоторых конструктивных особенностей высотных сооружений, которые могут также подвергаться кручению и изгибу, вызываемым неравномерным солнечным нагревом или давлением ветра [1], что приводит к их крену, т. е. к отклонению от вертикальной плоскости.

Подобные деформации могут способствовать потере устойчивости сооружения. Поэтому периодическое их определение (мониторинг) особенно актуально в свете расширения строительства в Республике Беларусь крупных и в первую очередь высотных и уникальных объектов. По результатам такого мониторинга при необходимости могут разрабатываться профилактические меры для устранения крена с целью обеспечения безаварийной эксплуатации сооружения. Современные тенденции оценки деформационного состояния высотных сооружений – создание автоматизированного, постоянно действующего мониторинга с использованием высокоточных систем космического позиционирования (GPS-систем), роботизированных электронных тахеометров, высокоточных инклинометров (типа Leica Nivel210/Nivel220) с точностью измерения угла наклона 0,09 с, программного комплекса Geomys (Leica Geosystems).

Автоматизированная система деформационного мониторинга требует значительных временных и материальных затрат, поэтому не утратили своей актуальности и более простые способы и критерии оценки деформационного состояния сооружений. Как отмечалось выше,

таким критерием может служить крен – наиболее характерный показатель общей деформации высотного сооружения. Существует ряд традиционных способов определения крена сооружений башенного типа [2–4]:

- по разности отметок осадочных марок, установленных на фундаменте или цокольной части сооружения;
- по вертикальному проецированию верхней точки сооружения на горизонтальную рейку;
- измерение горизонтальных углов на верхнюю точку сооружения;
- определение произвольных направлений или магнитных азимутов на образующие сооружения;
- определение прямоугольных координат (способ засечек) некоторой верхней точки сооружения;
- другие менее известные способы: измерение малых, горизонтальных и вертикальных углов, фоторегистрация одного опорного пункта, использование приборов вертикального проецирования.

В основе подавляющего большинства перечисленных выше способов определения кренов лежат угловые измерения с фиксированного базиса с использованием высокоточных теодолитов. Они даже в случае использования современных геодезических приборов с автоматической регистрацией и обработкой результатов измерений являются весьма трудоемкими и не обеспечивают достаточную оперативность и точность. Появление электронных тахеометров с большим радиусом безотражательных измерений расстояний позволило вычислять координаты на поверхности сооружения с большой точностью и на разных сечениях (высотах), что, по сути, дало возможность получать трехмерную модель поверхности сооружения. Этот факт позволяет авторам статьи предложить следующий способ определения кренов.

В работах авторов статьи для изучения и апробации предлагаемого способа использовали высокоточный роботизированный электронный тахеометр Leica TCRA1201 с безотражательным режимом измерения (производство концерна Leica Geosystems, Швейцария) [5]. Тахеометры указанной серии оснащены двумя дальномерами: традиционным IR-дальномером и безотражательным (RL) повышенной мощности. Технология Pinpoint, основанная на использовании лазерного дальномера видимого спектра излучения с чрезвычайно малой расходимостью пучка, обеспечивает высокую точность наведения на цель и измерения. Точность измерения расстояний тахеометром TCRA1201 в стандартном режиме работы с отражателем составляет $2 \text{ мм} + 2 \text{ ppm}$ (2 мм на 1 км), время одного измерения – 1,5 с, в безотражательном режиме – $3 \text{ мм} + 2 \text{ ppm}$ (2 мм на 1 км), время – 3–6 с. Угловые измерения в обоих режимах составляют 1 с.

В качестве примера реализации предлагаемого способа приведем результаты, полученные при плановых измерениях крена металлической вытяжной трубы одного из цехов ОАО «Гродно Азот», где изучению деформаций инженерных сооружений уделяется большое внимание [6, 7]. Экспериментальные наблюдения выполняли два раза в течение года – в июне и декабре. Высота трубы – 150 м.

Для определения величины крена электронный тахеометр Leica TCRA1201 (рис. 1) устанавливали на точке с хорошей видимостью полной стороны башенного сооружения. Расстояние до трубы выбирали таким образом, чтобы с уверенностью можно было регистрировать координаты верха трубы, поскольку он находился на максимальном расстоянии от тахеометра. С помощью встроенной программы обратной засечки выполняли ориентирование прибора и определение плановых координат точки стояния тахеометра. (В случаях, когда требуется только величина крена, все измерения можно выполнять в относительной системе координат.) Затем выбирали число сечений (на рис. 1 – $h_1, h_2, \dots, h_6$) на вытяжной трубе, на которых впоследствии вычисляли центр сооружения. Обычно это были горизонтальные швы на вытяжной трубе. Далее на каждом горизон-

тальном сечении через приблизительно равные угловые расстояния тахеометром измеряли трехмерные координаты поверхности башни. Как правило, в зависимости от прямой видимости это может быть от 6 до 10 точек. Координатам точек каждого сечения присваивали свой код, и они записывались в оперативную память тахеометра. Далее эти точки проецировались на горизонтальную плоскость. Таким образом, для каждого сечения определяли точки, описывающие полуокружность, которая получается в сечении башни на высоте h .

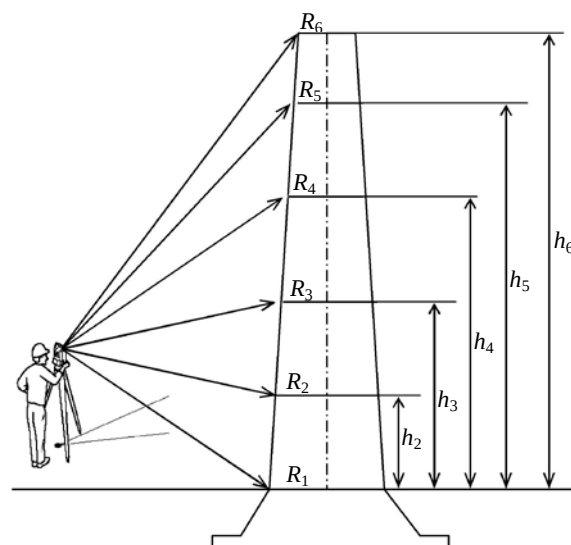


Рис. 1. Схема выполнения измерений

Следует отметить, что для определения радиуса башни на высоте h и координат центра достаточно трех точек, лежащих на этой полуокружности. Однако, учитывая, что реальные измерения подвержены некоторым погрешностям, а сечение башни на высоте h не является идеальным кругом при построении радиуса и центра окружности, авторы воспользовались известным методом наименьших квадратов. В настоящее время существует ряд программных комплексов, в которых процедуры построения окружности по методу наименьших квадратов по эмпирическим данным достаточно эффективно реализованы. Для этой цели может быть применено специализированное программное обеспечение по обработке и интерпретации геодезических данных LISCAD PLUS, ориентированных в первую очередь на обработку полевых данных геодезических приборов фирмы Leica.

Результаты измерений с электронного тахеометра (проекции) импортировали непосредственно в LISCAD. Определение координат центров и величины радиуса горизонтального сечения трубы на высоте h_i выполняли в стандартной процедуре LISCAD PLUS интерактивного построения дуги окружности по методу наименьших квадратов. Она позволяет вычислить радиус и построить центр окружности по любому числу точек, оценить отклонения измеренных на поверхности трубы точек от вычисленной дуги окружности для каждого измерения, повторить вычисления, исключив (например, точки с большими отклонениями) либо добавив новые точки.

Пример такой обработки, где крестиком обозначено местоположение проекций точек на горизонтальную плоскость, вниз от крестиков – идентификаторы точек, вверх под углом 45° – высоты от основания вытяжной трубы, на которых находятся точки, приведен на рис. 2. Сверху от дуги – фрагмент экрана результатов построения окружности на высоте ~100 м. В верхнем окне в графе «Смещение» приведены отклонения положения измеренных точек от построенной по методу наименьших квадратов окружности. В нижнем левом углу окна «Радиус 1.166» – вычисленный радиус вытяжной трубы на высоте 100 м. Как видно из рис. 2, максимальное отклонение от окружности составляет 7 мм для точки с идентификатором 804. Такие построения окружностей выполняли для каждого из сечений, на которых проводились измерения. Результаты вычисленных радиусов для двух серий измерений, проведенных в июне и декабре, приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что отклонения значений от средней вычисленной величины радиуса не превосходят 1,5–2,0 см. Эта осредненная величина может служить косвенным подтверждением точности наших определений. Отметим, что в данную погрешность могут входить и другие неточности, возникающие при эксплуатации

трубы за счет неравномерного нагрева, вибрации, влияния электромагнитных полей и других негативных процессов.

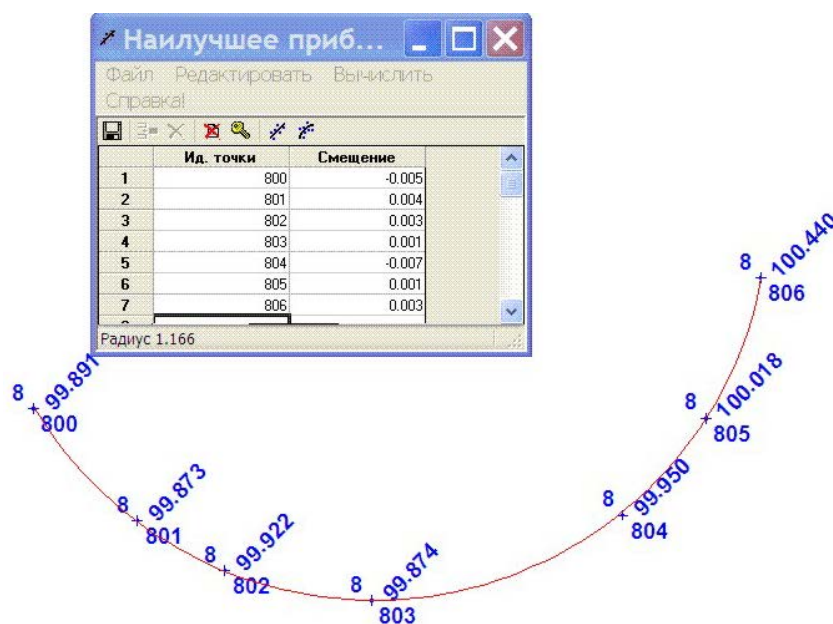


Рис. 2. Построенная окружность, описывающая сечение вытяжной трубы на высоте 100 м

Таблица 1

Радиусы вытяжной трубы по сечениям

Уровень	Высота уровня на трубе, м	Вычисленный радиус, см	
		06.2013	12.2013
1	26	1,204	1,209
2	37	1,183	1,174
3	45	1,180	1,201
4	57	1,201	1,194
5	67	1,186	1,179
6	79		1,181
7	92	1,199	1,175
8	100		1,166
9	108		1,159
10	119	1,186	1,194
11	131	1,188	1,187
12	139	1,207	1,208
Среднее значение радиуса		1,193	1,186

Согласно ГОСТ 24846–81, ТКП 45-1.03-26–2006, допустимые ошибки определения осадок не должны превышать следующих значений [8, 9]:

- 0,0001 высоты стен гражданских и производственных зданий и сооружений;
- 0,0005 высоты труб, мачт сооружений связи и ЛЭП, других подобных сооружений.

В рассматриваемом случае высота вытяжной трубы: $150 \text{ м} \cdot 0,0005 = 0,075 \text{ м}$, или 7,5 см. Это свидетельствует о том, что предлагаемый авторами новый способ определения крена башенных сооружений может быть применен на практике. Особенно на производственных предприятиях, где имеются 10 и более башенных сооружений.

Спроецированные на горизонтальную плоскость центры окружностей, построенных для каждого из уровней 1–12 (табл. 1), показаны на рис. 3. На нем точками отмечено плановое положение центра окружности (оси трубы) для каждой высоты. Высоты для этих точек приведены в табл. 1. Стрелками на рис. 3 обозначено перемещение центра вытяжной трубы от одного сечения к другому. Измерив расстояние между центрами окружностей для сечений 1 (точка 1) и 12 (точка 12), получили абсолютное значение величины крена. В данном случае она равна 290 мм. Среднее значение крена трубы, определенное за восемь последних лет традиционным способом, составляет 295 мм. Линия 1–12 будет соответствовать его направлению.

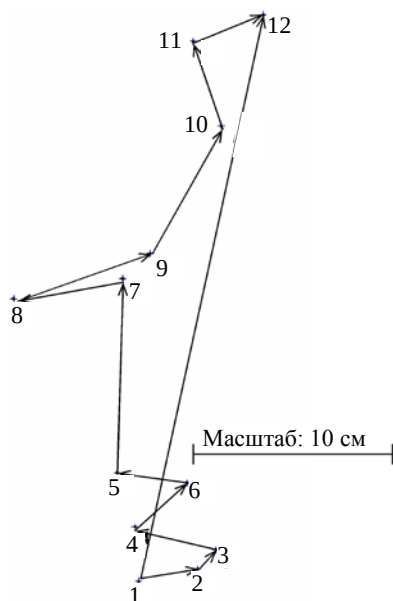


Рис. 3. Смещение центров сечения трубы по уровням

Следует отметить, что данный способ применим для различной конфигурации башенных сооружений (цилиндрических, конических, треугольных и др.) [10].

ВЫВОД

Предлагаемый способ обладает следующими преимуществами:

- позволяет с одной точки стояния тахеометра получать данные для определения величины и направления крена башенных сооружений;
- не требует предварительной закладки и последующей сохранности опорных геодезических пунктов (базисов);
- применим для различной конфигурации башенных сооружений (цилиндрических, конических, треугольных и др.);
- позволяет оперативно выполнять натурные измерения и получать окончательные результаты в автоматизированном режиме программного комплекса LISCAD PLUS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бикташев, М. Д. Башенные сооружения: геодезический анализ осадки, крена и общей устойчивости положения / М. Д. Бикташев. – М.: АСВ, 2006. – 376 с.
2. Руководство по определению кренов инженерных сооружений башенного типа геодезическими методами. – М.: Стройиздат, 1981. – 56 с.
3. Столбов, И. А. Об определении кренов сооружений / И. А. Столбов // Геодезия и картография. – 1988. – Вып. 3. – С. 35–36.
4. Нестеренок, М. С. Опыт определения кренов вентиляционных и дымовых труб в стесненных условиях / М. С. Нестеренок, А. С. Позняк, А. А. Астровский // Инф. листок БелНИИТИ. – 1989. – С. 4.
5. Михайлов, В. И. Особенности геодезического контроля стабильности инженерных сооружений в ОАО «Гродно Азот» / В. И. Михайлов // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственной деятельности, разработку экономичных и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения», посвященной 80-летию Белорусской государственной политехнической академии: в 10 ч. – Минск: БГПА, 2000. – Ч. 7. – С. 91.
6. Михайлов, В. И. Опыт применения цифрового нивелира DNA03 при измерении осадочных деформаций производственных объектов ОАО «Гродно Азот» / В. И. Михайлов, Г. В. Скребков, С. А. Тимошенко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. – Минск: БНТУ, 2008 – Т. 2. – С. 50.
7. Михайлов, В. И. Опыт применения электронного тахеометра для измерения вертикальности стен / В. И. Михайлов, С. И. Кононович, Ю. Н. Чиберкус // Главный инженер в строительстве. – 2013. – № 9. – С. 26–31.
8. Шеховцов, Г. А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. – 156 с.
9. ТКП 45-1.03-26-2006 (02250). Геодезические работы в строительстве. Правила проведения. – Введ. 01.07.06 с отменой на территории Республики Беларусь СНиП 3.01.03-84. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2006. – 62 с.

10. **Никитин, А. В.** Способ определения крена сооружений цилиндрической формы / А. В. Никитин // Геодезия и картография. – 2008. – Вып. 6. – С. 15–17.

REFERENCES

1. **Biktashev, M. D.** (2006) *Tower Constructions. Geodesic Analysis of Settlement, Tilt and General Stability of Position*. Moscow, ASV Publ. 376 p. (in Russian).
2. **Guidance for Determination of Tower Engineering Construction Tilt Using Geodesic Methods**. Moscow, Stroyizdat, 1981. 56 p. (in Russian).
3. **Stolbov, I. A.** (1988) On Determination of Construction Tilt. *Geodezia i Kartografiya* [Geodesy and Cartography], 3, 35–36 (in Russian).
4. **Nesterionok, M. S.,** Pozniak, A. S., & Astrovsky, A. A. (1989) Experience in Determination of Ventilation and Smoke Stack Tilt in Confined Spaces. *Bulletin of BelNIINTI*. Minsk, 4 (in Russian).
5. **Mikhailov, V. I.** (2000) Specific Features in Geodesic Control of Engineering Construction Stability at JSC “Grodno Azot”. *Proceedings of International Scientific and Technical Conference “Contribution of HEIs Research to Development of Priority Directions for Industry and Economy, Economic and Environmentally Clean Technologies and State-of-the-Art Training Methods” Dedicated to the 80th Anniversary of the Belarusian State Polytechnic Academy. Part 7*. Minsk: BSPA [Belarusian State Polytechnic Academy], 91 (in Russian).
6. **Mikhailov, V. I.,** Skrebkov, G. V., & Timoshenko, S. A. (2008) Experience in Application of DNA03-Digital Leveling Device While Measuring Settlement Deformations of JSC “Grodno Azot” Industrial Objects. *Nauka – Obrazovaniyu, Proizvodstvu, Ekonomike. Materialy Shestoi Mezhdunarodnoi Nauchno-Tekhnicheskoi Konferentsii. T. 2* [Science to Education, Industry, Economics. Proceedings of 6th International Science and Technical Conference. Vol. 2]. Minsk: BNTU, 50 (in Russian).
7. **Mikhailov, V. I.,** Kononovich, S. I., & Tchiberkus, Yu. N. (2013) Experience in Application of Electronic Tacheometer for Measuring Wall Verticality. *Glavny Inzhener v Stroitelstvie* [Chief Engineer in Construction], 9, 26–31 (in Russian).
8. **Shekhovtsov, G. A.,** & Shekhovtsova, R. P. (2009) *Modern Geodesic Methods for Detection of Engineering Construction Deformations*. Nizhny Novgorod: NNGASU [Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering]. 156 p. (in Russian).
9. **ТКР 45-1.03-26-2006 (02250).** Geodesic Works in Construction. Rules of Conduct. Minsk, Architecture and Construction Ministry of the Republic of Belarus, 2006. 62 p. (in Russian).
10. **Nikitin, A. V.** (2008) Method for Determination of Cylindrical Construction Tilt. *Geodezia i Kartografiya* [Geodesy and Cartography], 6, 15–17 (in Russian).

Поступила 17.03.2014

УДК 624.155

ЗАБИВНЫЕ ПОЛИПРОЧНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ СВАИ И НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ СВАЙНОГО НАГОЛОВНИКА

Докт. техн. наук, проф. БЕКБАСАРОВ И. И., магистр ИСАКОВ Г. И.

Таразский государственный университет имени М. Х. Дулати (Казахстан)

E-mail: bekbasarov.isabai@mail.ru

Изложены конструктивные и технологические особенности изготовления забивных свай с переменной прочностью ствола. Показана экономическая эффективность их выпуска. Представлена конструкция свайного наголовника, обеспечивающая восприятие ударных усилий молота боковыми гранями головной части свай. Предложены забивные железобетонные сваи, изготавливаемые из трех разнопрочных участков ствола. Прочность материала (класс бетона и диаметр арматуры) и длина участков ствола назначаются дифференцированно в зависимости от характера и уровня напряжений в сваях при забивке. Выпуск полипрочных свай открывает возможность их подбора для каждой конкретной площадки строительства с учетом их сохранности при забивке.

Разработан свайный наголовник, который в отличие от существующих аналогичных конструкций позволяет передавать ударные усилия от молота к свае через боковую поверхность ее головной части. Наголовник обеспечивает возможность увеличения площади восприятия свай ударных усилий от молота и тем самым значительно снижает риск повреждения и разрушения бетона свай при забивке. Применение полипрочных свай, а также их забивка с помощью нового свайного наголовника составляют основу бездефектной и ресурсосберегающей технологии устройства свайных фундаментов в строительстве.

Ключевые слова: забивные полипрочные железобетонные сваи, свайный наголовник, прочность на сжатие, класс бетона, диаметр арматуры.

Ил. 8. Табл. 2. Библиогр.: 13 назв.

DRIVEN POLYSTRONG REINFORCED CONCRETE PILES AND NEW DESIGN OF PILE CAPS

BEKBASAROV I. I., ISAKOV G. I.

Taraz State University named after M. Kh. Dulati (Kazakhstan)

The paper presents constructional and technological features for manufacturing driven piles with variable strength of pile shaft. Economical efficiency of their production has been shown in the paper. The paper provides a pile cap design that ensures perception of hammer impacts with the help of lateral edges of the pile cap. Driven reinforced concrete piles which are manufactured from three shaft sections having various strength have been proposed in the paper. Material strength (concrete grade and diameter of bars) and length of shaft sections are given on a case by case basis in accordance with nature and rate of stresses in piles during their driving process. Manufacturing of polystrong piles provides an opportunity to select them for a particular construction site with due account of their preservation during driving process.

A pile cap has been developed that as opposed to existing analogous designs makes it possible to transmit impact efforts from a hammer to the pile through lateral surface of its head part. The pile cap provides the possibility to increase an area for perception of hammer impact efforts by the pile and in doing so it is possible significantly to reduce a damage risk and destruction of pile concrete during its driving. Application of polystrong piles and their driving with the help of new pile cap are considered as a basis for defect-free and resource-saving technology for pile foundations in the construction.

Keywords: driven polystrong reinforced concrete piles, pile cap, compression strength, concrete grade, diameter of bars.

Fig. 8. Tab. 2. Ref.: 13 titles.

Забивные железобетонные сваи, применяемые в свайном фундаментостроении, в пределах одного номенклатурного типа изготавливаются из одного вида, состава и класса бетона по прочности на сжатие. Исключением служат сваи со сталефибробетонной головной частью, в которых верхний участок (длиной 40 см) имеет повышенную прочность за счет армирования сваи специальными металлическими фибрами [1]. Изготовление монопрочных свай (свай с постоянной прочностью бетона ствола) оправдано технологически, но необосновано научно, а следовательно, нерационально практически. Это подтверждается тем, что как в период эксплуатации, так и в процессе забивки напряженное состояние свай не характеризуется равномерным распределением сжимающих напряжений по их длине [2, 3]. Причем высокий уровень напряжений и их неравномерное распределение по длине свай имеют место при их забивке молотами. Исходя из этого была выдвинута идея формирования прочности ствола свай в соответствии с характером распределения сжимающих напряжений, возникающих в них в процессе ударного погружения в грунты. Данная идея положена в основу создания полипрочных и полибетонных свай и освещена в [4, 5]. На конструкцию полипрочной сваи получен инновационный патент РК (№ 26652, 2012).

Полипрочные – это сваи, состоящие из нескольких разнопрочных участков ствола, изготавливаемых из одного вида бетона. Полибетонные сваи – те же полипрочные сваи, но изготавливаемые из нескольких видов бетона. Разработаны три варианта полипрочных свай, каждая из которых состоит из трех разнопрочных участков, размеры, класс бетона и диаметр продольной арматуры которых назначаются дифференцированно в зависимости от величины и характера распределения сжимающих напряжений по длине свай при их забивке. В полипрочной свае участок 1 длиной L_T представляет собой головную часть сваи, участок 2 длиной L_C – среднюю часть, а участок 3 длиной L_H – нижнюю часть сваи (включая острие). Длины L_T , L_C и L_H , а также классы бетона участков сваи B_T , B_C и B_H назначаются по табл. 1. При этом вид эпюры сжимающих напряжений в сваях при забивке предварительно принимается по табл. 2 в зависимости от максимального значения напряжений в головной части свай при ударах молота. Рекомендации, представленные в табл. 1 и 2, составлены с учетом результатов исследований, изложенных в [6–8].

Данные, представленные в табл. 1 и 2, распространяются на призматические сваи длиной до 12 м. Если прогнозный максимальный уровень сжимающих напряжений в сваях при за-

бивке будет более 22 МПа, то эпюру напряжений в них можно принимать близкой к прямоугольной, а прочность бетона и диаметр продольной арматуры – постоянными по всему стволу, как для традиционных монопрочных свай.

Таблица 1

Длина и класс бетона разнопрочных участков свай

Вид эпюры распределения сжимающих напряжений в свае при забивке	Длина разнопрочных участков в долях от общей длины сваи L			Класс бетона участков сваи на сжатие		
	L_T	L_C	L_H	B_T	B_C	B_H
В виде трапеции с вогнутостью в верхней части	0,15L	0,35L	0,5L	12,5	10	7,5
В виде правильной трапеции	0,25L	0,35L	0,40L	15	12,5	10
В виде трапеции с выпуклостью в верхней и средней частях	0,40L	0,40L	0,20L	20	15	12,5

Таблица 2

Виды эпюр сжимающих напряжений в сваях при забивке

Максимальный уровень сжимающих напряжений в головной части свай при забивке, МПа	Вид эпюры распределения сжимающих напряжений в свае при забивке
14 и менее	В виде трапеции с вогнутостью в верхней части
От 14 до 19	В виде правильной трапеции
От 19 до 22	В виде трапеции с выпуклостью в верхней и средней частях

В полипрочных сваях обеспечивается рациональное использование материала их ствола, так как прочность бетона отдельных участков подбирается с учетом фактического уровня напряжений в них при забивке. Изготовление каждой полипрочной сваи сопровождается снижением расхода материалов: цемента – на 15,9–20,7 % (рис. 1); щебня – на 28,6–33,3 % (рис. 2); песка – на 13,8–15,9 % (рис. 3). Стоимость полипрочных свай на 13,1–28,6 % ниже стоимости традиционных монопрочных свай. Причем разница в стоимости сравниваемых свай тем выше, чем больше их длина (рис. 4).

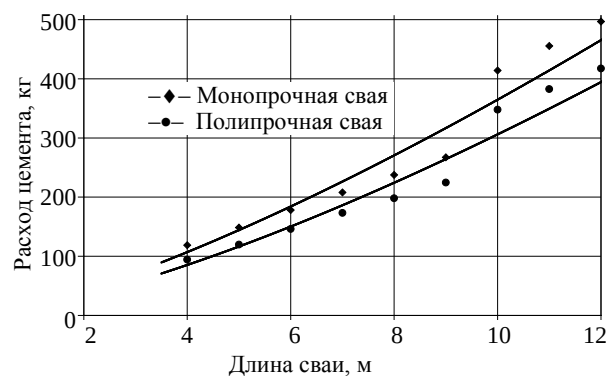


Рис. 1. Зависимость расхода цемента от длины сваи

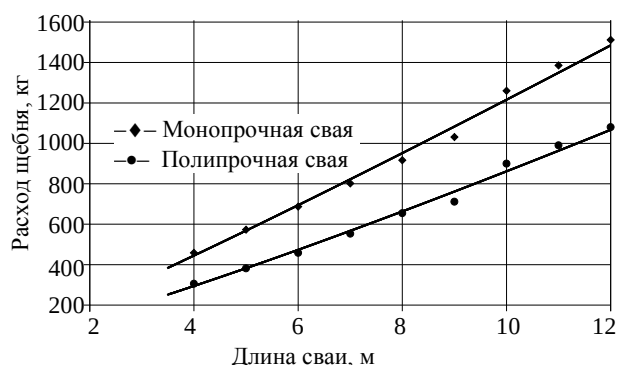


Рис. 2. Зависимость расхода щебня от длины сваи

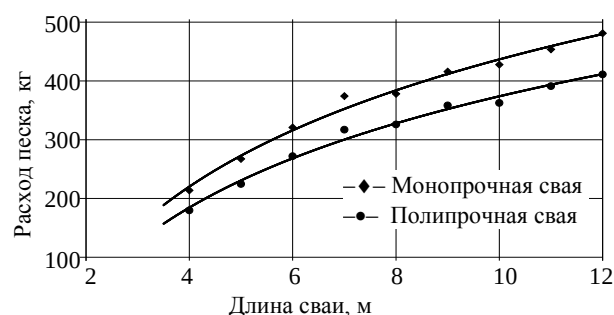


Рис. 3. Зависимость расхода песка от длины сваи

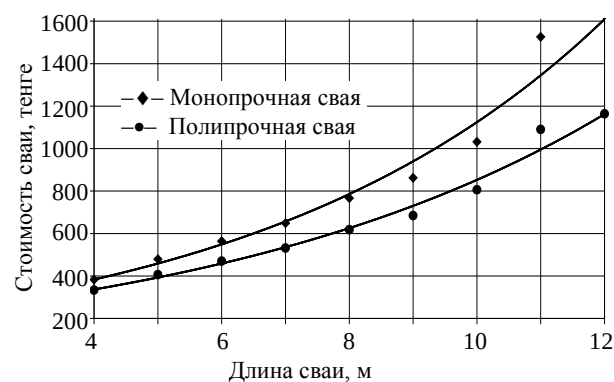


Рис. 4. Зависимость стоимости сваи от ее длины

Разработаны две технологические схемы изготовления полипрочных свай в заводских условиях. Первая включает в себя одноопалубочное горизонтальное бетонирование сваи с делением ее ствола на разнопрочные участки при помощи вставляемых до и удаляемых после бетонирования тонких съемных пластин-перемычек.

В соответствии с первой схемой свая изготавливается следующим образом (рис. 5):

- в готовую форму 1 укладывается арматурный каркас 2;
- вставляются пластины-вкладыши 3, которые разделяют участки сваи с разной прочностью бетона;
- после установки пластин-вкладышей бетонизируются головная часть 4 и нижняя часть 5 сваи;
- бетонизируется средняя часть 6 сваи;
- после заполнения бетоном средней части вынимаются пластины-вкладыши;
- сваю 7 помещают в пропарочную камеру для сушки.

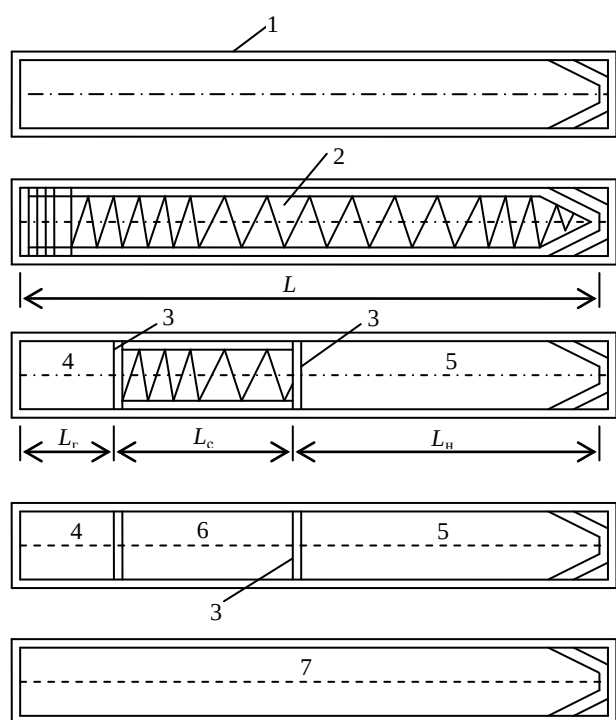


Рис. 5. Первая схема изготовления полипрочной сваи

Вторая схема предусматривает раздельное изготовление в вертикальных опалубках головной и нижней частей сваи и их последующее

соединение со средней частью в горизонтальной опалубке. В соответствии со второй технологической схемой изготовление полипрочной сваи производится в следующей последовательности (рис. 6):

- в готовые формы 1 и 2, предназначенные соответственно для головной и нижней частей сваи, устанавливаются соответствующие арматурные каркасы 3 и 4;
- формы заполняются бетоном с выпуском арматуры;
- производится сушка бетонированных элементов 5 и 6;
- готовые головную и нижнюю части сваи 7 и 8 помещают в промежуточную форму 9;
- в промежуточную форму укладывается арматурный каркас 10 средней части сваи;
- производится соединение выпусков арматуры элементов 7 и 8 с арматурным каркасом 10 (с помощью сварки);
- бетонизируется средняя часть сваи 11 и производится ее сушка.

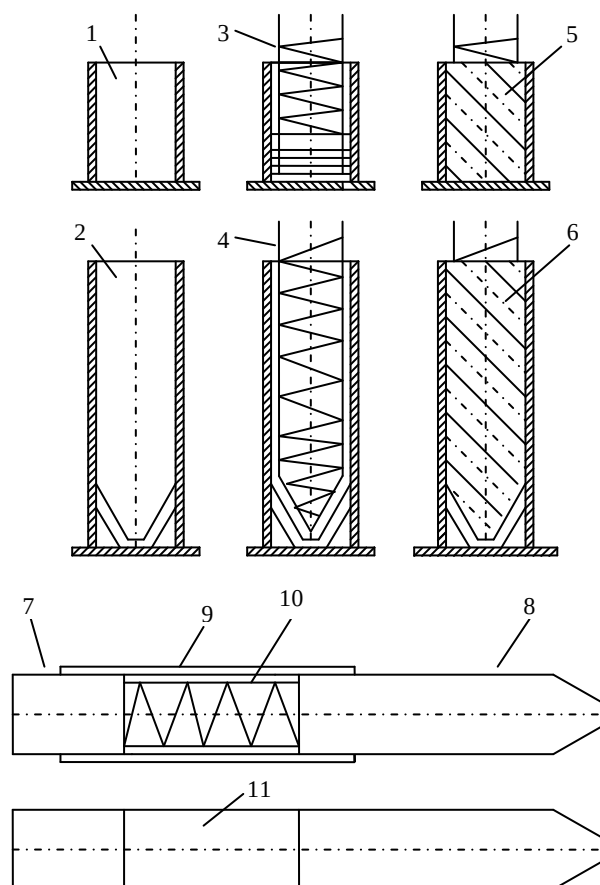


Рис. 6. Вторая схема изготовления полипрочной сваи

Предложенные технологические схемы изготовления полипрочных свай не требуют закупки нового или же капитальной модернизации существующего оборудования и могут быть реализованы на действующих предприятиях, специализирующихся на выпуске сборных железобетонных конструкций.

В настоящее время в СНГ, в том числе и в Казахстане, для обеспечения защиты головной части железобетонных свай от разрушений при забивке используются два вида свайных наголовников. Так, для забивки свай трубчатым дизель-молотом применяется Н-образный наголовник с верхней и нижней выемками (рис. 7а) [9]. Такие наголовники снабжаются верхними и нижними амортизаторами.

Для забивки свай штанговым дизель-молотом в основном применяются П-образные наголовники с одним амортизатором (рис. 7б) [9]. При Н- и П-образных наголовниках передача ударных нагрузок от молота к голове сваи происходит через ее торцовую поверхность, которая в процессе забивки расположена перпендикулярно к направлению удара молота. При такой контактной поверхности на ее краях по периметру при ударе имеет место большая концентрация напряжений, служащая в последующем причиной повреждений и разрушений бетона головной части свай при забивке.

Кроме рассмотренных видов наголовников, в практике сваебойного дела применяется свайный наголовник более сложной конструкции, представленный в [10, 11] (рис. 7в). Данный наголовник может использоваться только для забивки модульных свай, обладающих конической или пирамидальной головной частью. В свайном наголовнике рассматриваемой конструкции ударные усилия от молота к свае передаются через наклонные грани торца головной части сваи (рис. 7в). При таком характере передачи ударных нагрузок концентрация напряжений на краях торцевой наклонной контактной поверхности головы сваи несколько меньше.

Общий и основной недостаток рассмотренных свайных наголовников – ограниченность площади передачи ударных нагрузок молота размерами поперечного сечения головы сваи. Небольшая площадь контактной поверхности является причиной перенапряжений и разрушений материала свай при ударах молота. Для обеспечения надежной защиты головной части сваи авторами была предложена новая конструкция свайного наголовника, в котором передача ударных усилий от молота к свае обеспечивается только через боковую поверхность головной части сваи [12, 13]. Схема наголовника представлена на рис. 8. На конструкцию свайного наголовника получен инновационный патент РК (№ 26400, 2012).

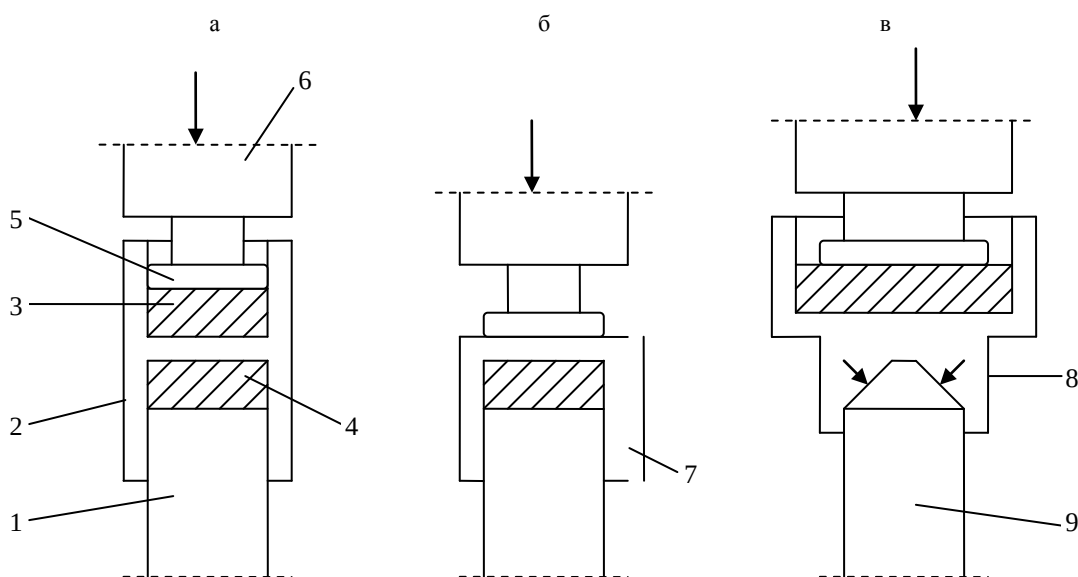


Рис. 7. Схемы существующих свайных наголовников: а – Н-образный; б – П-образный; в – сложной конструкции; 1 – свая; 2 – Н-образный наголовник; 3, 4 – верхний и нижний амортизаторы; 5, 6 – шабот и корпус молота; 7 – П-образный амортизатор; 8 – наголовник для модульной сваи; 9 – модульная свая

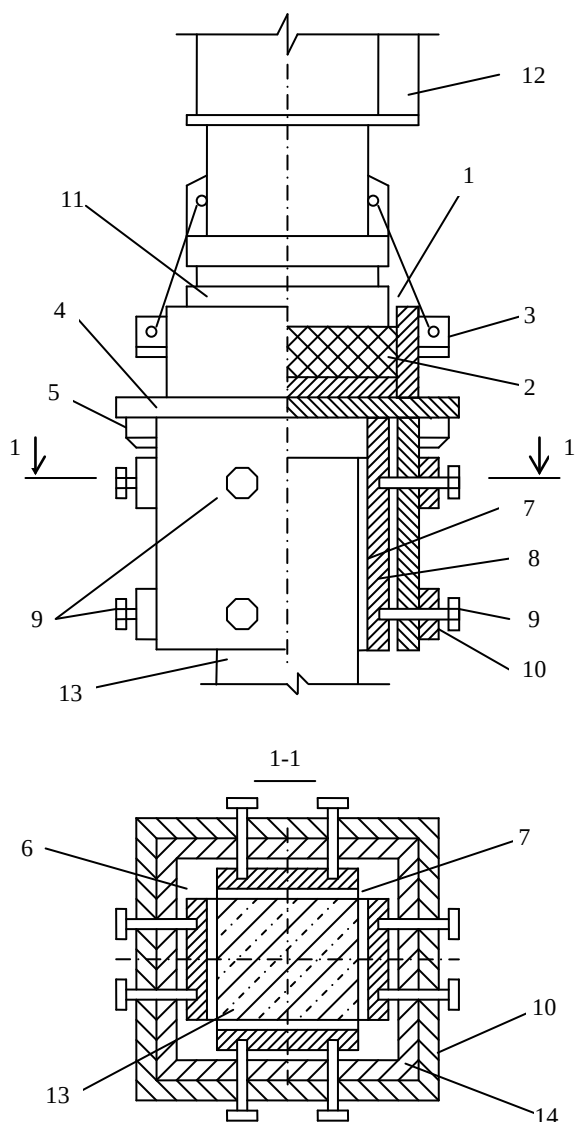


Рис. 8. Схема свайного наголовника с боковой передачей усилий к свае

Наголовник состоит из: верхней выемки 1; верхнего амортизатора 2; верхнего обруча 3; диафрагмы 4; нижнего обруча 5; нижней выемки 6; резиновых амортизаторов 7; вертикальных подвижных пластин 8; прижимных винтов 9; обжимных поясов 10.

Передача ударных нагрузок от шабота 11 молота 12 к свае 13 производится за счет трения боковых резиновых амортизаторов по бетону боковой поверхности головы сваи. Резиновые амортизаторы крепятся к вертикальным подвижным пластинам на основе высокопрочного клея. Эти пластины упираются в диафрагму и одновременно удерживаются в вертикальном положении с помощью прижимных вин-

тов. Прижимные винты ввинчиваются в обжимные пояса и в корпус 14 нижней выемки. Обжимные пояса соединены с корпусом нижней выемки путем сварки.

Наголовник работает следующим образом (рис. 8):

- производится сборка наголовника с укладкой верхнего амортизатора в верхнюю выемку;
- с помощью верхнего обруча выполняется подвеска наголовника к молоту с установкой шабота в верхнюю выемку;
- в нижнюю выемку заводится голова сваи;
- производится равномерное завинчивание прижимных винтов;
- под действием прижимных винтов вертикальные подвижные пластины с боковыми резиновыми амортизаторами прижимаются к боковым граням головы сваи;
- наголовник и свая задавливаются массой молота;
- производится забивка сваи.

Таким образом, наголовник позволяет производить передачу ударных нагрузок молота на боковую поверхность головы сваи. Преимуществом наголовника является повышенная площадь передачи ударных нагрузок от молота к свае. Так, при длине контактной поверхности сваи, равной размеру ее поперечного сечения, площадь передачи ударных нагрузок в наголовнике в четыре раза превышает аналогичную площадь существующих наголовников.

На основе расчетов, выполненных по методике, изложенной в [3], установлено, что при применении нового свайного наголовника обеспечивается снижение динамических сжимающих напряжений в голове сваи в 1,8–3,6 раза. Таким образом, использование предлагаемого свайного наголовника способствует существенному повышению уровня бездефектной забивки железобетонной сваи в грунты. При проектировании рассматриваемого свайного наголовника необходимо знать поперечные усилия, которые нужно приложить, чтобы прижать резиновые амортизаторы к боковой поверхности сваи.

Равномерно-распределенную силу трения f_b между резиновым амортизатором и бетоном боковой грани сваи можно рассчитывать по следующей формуле:

$$f_b = \frac{\sigma_{\max}}{4A_t A_b}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\max}$ – максимальное сжимающее напряжение, возникающее в головной части сваи при забивке в грунт, МПа; A_t – площадь поперечного сечения сваи, м²; A_b – площадь боковой грани сваи, через которую ударные усилия от молота передаются к свае (площадь трения), м².

Сжимающее напряжение $\sigma_{\max}$ в формуле (1) представляет собой напряжение, которое возникает в головной части сваи при передаче ударных усилий от молота к свае через ее торцовую часть, т. е. при использовании П- или Н-образного наголовника. Для определения этого параметра рекомендуется использовать методику, представленную в [3].

Зная силу трения f_b , можно определять поперечную равномерно распределенную силу q_b , прижимающую резиновый амортизатор к боковой грани сваи, по следующей формуле:

$$q_b = \frac{f_b}{k_s}, \quad (2)$$

где k_s – коэффициент трения скольжения между бетоном боковой грани и резиновым амортизатором наголовника.

Если резиновый амортизатор прижимается к боковой грани посредством винтов, то усилие N_v , которое должен создавать один винт, можно рассчитывать по формуле

$$N_v = \frac{f_b}{k_s A_b n}, \quad (3)$$

где n – число винтов, прижимающих резиновый амортизатор к боковой грани сваи.

ВЫВОДЫ

1. Предложены забивные железобетонные сваи, изготавливаемые из трех разнопрочных участков ствола. Прочность материала (класс бетона и диаметр арматуры) и длина участков ствола назначаются дифференцированно в зависимости от характера и уровня напряжений в сваях при забивке. Выпуск полипрочных свай открывает возможность их подбора для каждой конкретной площадки строительства с учетом их сохранности при забивке.

2. Разработан свайный наголовник, который в отличие от существующих аналогичных конструкций позволяет передавать ударные усилия от молота к свае через боковую поверхность ее головной части. Наголовник обеспечивает возможность увеличения площади восприятия свайей ударных усилий от молота и тем самым значительно снижает риск повреждения и разрушения бетона свай при забивке.

3. Применение полипрочных свай, а также их забивка с помощью нового свайного наголовника составляют основу бездефектной и ресурсосберегающей технологии устройства свайных фундаментов в строительстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Забивные сваи с железобетонным стволом и сталефибробетонной головой** / Г. С. Родов [и др.] // Материалы семинара по повышению качества нулевого цикла. – Л., 1979. – С. 54–62.
2. **Бартоломей, А. А.** О динамических сжимающих напряжениях, возникающих в сваях при их забивке в грунты / А. А. Бартоломей, И. И. Бекбасаров // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала: межвузовский сб. науч. трудов. – Пермь: Перм. политехн. ин-т, 1984. – С. 6–12.
3. **Бекбасаров, И. И.** Основы рациональной забивки железобетонных свай в грунты / И. И. Бекбасаров. – Тараз: Тараз университети, 2011. – 155 с.
4. **Бекбасаров, И. И.** Принципы создания полибетонных железобетонных свай / И. И. Бекбасаров, Г. И. Исаков // Материалы XIII студ. науч.-практ. конф. ТарГУ имени М. Х. Дулати по естественным, техническим, социально-гуманитарным и экономическим наукам, посвященной 20-летию независимости Республики Казахстан. – Тараз: Тараз университети, 2011. – С. 141–142.
5. **Бекбасаров, И. И.** Полипрочные и полибетонные сваи / И. И. Бекбасаров, Г. И. Исаков // Наука и технологии: шаг в будущее: сб. тез. V Всемир. конгр. инжиниринга и технологий WCET-2012. – Алматы, 2012. – С. 82–84.
6. **Бекбасаров, И. И.** Забивная свая с переменной прочностью и технологические принципы ее изготовления / И. И. Бекбасаров, Г. И. Исаков // Materialy VII Mezinarodni Vedecko-Prakticka Konference “Vedecky Prumysl Evropskeho Kontinentu – 2011”. Dil 26 Technicke Vedy, Vystavba a Architectura. – Praha: Publishing House “Education and Science”, 2011. – P. 72–75.
7. **Бекбасаров, И. И.** Технология изготовления и технико-экономические показатели полипрочных свай / И. И. Бекбасаров, Г. И. Исаков, Б. Т. Саимбетова // Materialy VIII Mezinarodni Vedecko-Prakticka Konference “Efektivni Nastroje Modnich Ved – 2012”. Dil 31 Vystavba a Architectura Technicke Vedy. – Praha: Publishing House “Education and Science”, 2012. – P. 69–73.
8. **Новые перспективные ресурсосберегающие свайные конструкции** / И. И. Бекбасаров [и др.] // Вестник

Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – №4. – С. 81–92.

9. **Руководство** по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов. – М.: Стройиздат, 1977. – 241 с.

10. **Аббасов, П. А.** Ударостойкая железобетонная свая и наголовник для ее погружения / П. А. Аббасов, Л. Б. Цой // Современные проблемы свайного фундаментостроения в СССР: сб. тезисов докладов Всесоюзного совещания-семинара. – Пермь: Перм. политехн. ин-т, 1988. – С. 136–137.

11. **Аббасов, П. А.** Ударостойкие железобетонные сваи, их изготовление и погружение в грунты / П. А. Аббасов, В. Н. Кархалев, Л. Б. Цой // Ресурсосберегающие технологии возведения фундаментов из свай заводской готовности. – М.: Стройиздат, 1990. – С. 87–93.

12. **Исаков, Г. И.** Принципы создания новой конструкции наголовника для забивки железобетонных свай / Г. И. Исаков, И. И. Бекбасаров // Материалы XIII студ. науч.-практ. конф. ТарГУ имени М. Х. Дулати по естественным, техническим, социально-гуманитарным и экономическим наукам, посвященной 20-летию независимости Республики Казахстан. – Тараз: Тараз университеті, 2011. – С. 142–143.

13. **Бекбасаров, И. И.** Наголовник для забивки свай / И. И. Бекбасаров, Г. И. Исаков // Материалы VII Mezinardni Vedecko-Prakticka Conference “Vedecky Prumsul Evropskeho Kontinentu – 2011”. – Praha: Publishing House “Education and Science” s.r.o. – P. 72–75.

REFERENCES

1. **Rodov, G. S.,** Kurbatov, L. G., Kuprianov, V. S., & Khazanov, M. Ia. (1979) Driven Piles with Reinforced Concrete Shaft and Steelfibre-Reinforced Concrete Head. *Proceedings of Workshop on Quality Improvement of Zero Cycle*. Leningrad, 54–62 (in Russian).

2. **Bartolomey, A. A.,** & Bekbasarov, I. I. (1984) On Dynamic Compression Pressures Initiated in Piles During Their Driving in Sub-Foundation. *Osnovaniya i Fundamenty v Geologicheskikh Usloviyakh Urala. Mezhvuzovskiy Sbornik Nauchnykh Trudov* [Foundation Engineering in Geological Conditions of the Urals. Inter University Collection of Scientific Papers]. Perm: Perm. Polytechnic. Inst., 6–12 (in Russian).

3. **Bekbasarov, I. I.** (2011). *Fundamentals of Rational Driving of Reinforced Concrete Piles in Sub-Foundation*. Taraz: Taraz University. 155 p. (in Russian).

4. **Bekbasarov, I. I.,** & Isakov, G. I. (2011) Principles for Creation of Poly Concrete and Reinforced Concrete Piles. *Materialy XIII Stud. Nauch.-Prakt. Konf. Tar GU imeni M. Kh. Dulati po Estestvennym, Tekhnicheskim, Sotsial'no-Gumanitarnym i Ekonomicheskim Naukam, Posviashchennoi 20-letiiu Nezavisimosti Respubliki Kazakhstan* [Proceedings of XIII Student Scientific and Practical Conference on Natural, Engineering, Social and Human and Economic Sciences Organized by Taraz State University Named After M. Kh. Dulati and Dedicated to 20th Anniversary of Independence of the Republic of Kazakhstan]. Taraz: Taraz University, 141–142 (in Russian).

5. **Bekbasarov, I. I.,** & Isakov, G. I. (2012) Poly-Strong and Poly-Concrete Piles. *Sbornik Tezisev V Vsemir. Kongr. Inzhiniringa i Tekhnologii WCET-2012 “Nauka i Tekhnologii: Shag v Budushchee”* [Abstract Book of V World Congress of Engineering and Technologies WCET-2012 “Science and Technologies: Step into the Future”]. Almaty, 82–84 (in Russian).

6. **Bekbasarov, I. I.,** & Isakov, G. I. (2011) Driven Pile with Variable Strength and Technological Principles of Their Manufacturing. *Materialy VII Mezinardni Vedecko-Prakticka Konference “Vedecky Prumysl Evropskeho Kontinentu – 2011”*. Dil 26 Technicke Vedy, Vystavba a Architektura. Praha, Publishing House “Education and Science”, 72–75 (Article in Russian; Title of the Book in Czech).

7. **Bekbasarov, I. I.,** Isakov, G. I., & Saimbetova, B. T. (2012) Manufacturing Technology and Technical and Economic Indicators of Poly-Strong Piles. *Materialy VIII Mezinardni Vedecko-Prakticka Konference “Efektivni Nastroje Modrnych Ved – 2012”*. Dil 31 Vystavba a Architektura Technicke Vedy. Praha, Publishing House “Education and Science”, 69–73 (Article in Russian; Title of the Book in Czech).

8. **Bekbasarov, I. I.,** Baiteliev, R. T., Shilibekov, S. K., & Isakov, G. I. (2014). New Prospective Resource-Saving Pile Structures. *Vestnik Permskogo Natsional'nogo Issledovatel'skogo Politehnicheskogo Universiteta. Stroitel'stvo i Arkhitektura* [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture], 4, 81–92 (in Russian).

9. **Manual on Execution and Acceptance of Works During Foundation Engineering**. Moscow, Stroyizdat, 1977. 241 p. (in Russian).

10. **Abbasov, P. A.,** & Tsoi, L. B. (1988) Shock-Proof Reinforced Concrete Pile and Cap for Its Sinking. *Sovremennye Problemy Svainogo Fundamentostroeniia v SSSR: Sb. Tezisev Dokladov Vsesoiuznogo Soveshchaniia-Seminara* [Abstracts of All-Union Seminar-Meeting on Modern Problems of Pile Foundation Construction in the USSR], Perm: Perm. Polytechnic. Inst., 136–137 (in Russian).

11. **Abbasov, P. A.,** Karkhalev, V. N., & Tsoi, L. B. (1990) Shock-Proof Reinforced Concrete Piles, Their Manufacturing and Sinking in the Sub-Foundation. *Resource-Saving Technologies for Foundation Construction Using Prefabricated Piles*. Moscow, Stroyizdat, 87–93 (in Russian).

12. **Isakov, G. I.,** & Bekbasarov, I. I. (2011) Principles for Creation of New Cap Design for Driving Reinforced Concrete Piles. *Materialy XIII Stud. Nauch.-Prakt. Konf. Tar GU imeni M. Kh. Dulati po Estestvennym, Tekhnicheskim, Sotsial'no-Gumanitarnym i Ekonomicheskim Naukam, Posviashchennoi 20-letiiu Nezavisimosti Respubliki Kazakhstan* [Proceedings of XIII Student Scientific and Practical Conference on Natural, Engineering, Social and Human and Economic Sciences organized by Taraz State University Named After M. Kh. Dulati and Dedicated to 20th Anniversary of Independence of the Republic of Kazakhstan]. Taraz: Taraz University, 142–143 (in Russian).

13. **Bekbasarov, I. I.,** & Isakov, G. I. (2011) Cap for Pile Driving. *Materialy VII Mezinardni Vedecko-Prakticka Conference “Vedecky Prumsul Evropskeho Kontinentu – 2011”*. Praha, Publishing House “Education and Science”, 72–75 (Article in Russian; Title of the Book in Czech).

Поступила 27.03.2012

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ СЕРОВОДОРОДА

Докт. техн. наук СЕДЛУХО Ю. П., асп. СТАНКЕВИЧ Ю. О.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: yuri.sedlukho@gmail.com

Рассмотрены проблемы и особенности биохимического удаления сероводорода из подземных вод. Проведен анализ существующих методов очистки подземных вод от сероводорода, установлены недостатки их физико-химической очистки. При использовании аэрационных методов удаления сероводорода за счет его частичного химического окисления кислородом воздуха происходит образование коллоидной серы, придающей воде мутность и опалесценцию. Кроме этого, происходящее в процессе аэрации нарушение сульфидно-карбонатного равновесия в связи с десорбцией H_2S и CO_2 часто приводит к зарастанию насадок дегазаторов образующимся $CaCO_3$, что вызывает серьезные эксплуатационные трудности. Химические методы требуют сравнительно большого расхода, сложного реагентного хозяйства, складских помещений и транспортных расходов.

С точки зрения очистки сероводородсодержащих подземных вод, наибольший интерес вызывает биохимический метод. Сдерживающими факторами широкого применения этого метода являются его недостаточная изученность и необходимость проведения специальных изысканий для определения оптимальных технологических параметров при очистке подземных вод конкретного источника водоснабжения. В основе биохимических методов окисления соединений серы лежат естественные биологические процессы, обеспечивающие круговорот серы в природе. Двухстадийный механизм окисления сероводорода серобактериями (*Beggiatoa*) был установлен С. Н. Виноградским: на первой стадии сероводород окисляется до элементарной серы, которая в виде глобул накапливается в протоплазме, а на второй стадии при недостатке сероводорода серобактерии начинают окислять внутриклеточную серу до серной кислоты.

В статье приведены результаты технологических испытаний крупномасштабных пилотных установок биохимической очистки подземных вод от сероводорода в полупроизводственных условиях. Установлены зависимости изменения показателей качества воды по ступеням очистки при разных скоростях фильтрации.

Ключевые слова: сероводород, биохимическое удаление, биореактор.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 16 назв.

INVESTIGATIONS ON BIOCHEMICAL PURIFICATION OF GROUND WATER FROM HYDROGEN SULFIDE

SEDLUKHO Yu. P., STANKEVICH Yu. O.

Belarusian National Technical University

The paper considers problems and features of biochemical removal of hydrogen sulfide from ground water. The analysis of existing methods for purification of ground water from hydrogen sulfide has been given in the paper. The paper has established shortcomings of physical and chemical purification of ground water. While using aeration methods for removal of hydrogen sulfide formation of colloidal sulfur that gives muddiness and opalescence to water occurs due to partial chemical air oxidation. In addition to this violation of sulfide-carbonate equilibrium taking place in the process of aeration due to desorption of H_2S and CO_2 , often leads to clogging of degasifier nozzles with formed $CaCO_3$ that causes serious operational problems. Chemical methods require relatively large flow of complex reagent facilities, storage facilities and transportation costs.

In terms of hydrogen sulfide ground water purification the greatest interest is given to the biochemical method. Factors deterring widespread application of the biochemical method is its insufficient previous investigation and necessity to execute special research in order to determine optimal process parameters while purifying groundwater of a particular water supply source. Biochemical methods for oxidation of sulfur compounds are based on natural biological processes that ensure natural sulfur cycle. S. Vinogradsky has established a two-stage mechanism for oxidation of hydrogen sulfide with sulfur bacteria (*Beggiatoa*). The first stage presupposes oxidation of hydrogen sulphide to elemental sulfur which is accumulating in the cytoplasm in the form of globules. During the second stage sulfur bacteria begin to oxidize intracellular sulfur to sulfuric acid due to shortage of hydrogen sulfide.

The paper provides the results of technological tests of large-scale pilot plants for biochemical purification of groundwater from hydrogen sulfide in semi-industrial conditions. Dependences of water quality change on purification phases with various filtration rate have been determined in the paper.

Keywords: hydrogen sulfide, bio-chemical removal, bioreactor.

Fig. 3. Tab. 1. Ref.: 16 titles.

Введение. На территории бывшего СССР, согласно данным Л. А. Яроцкого [1], находится около 150 крупных месторождений сероводородных подземных вод в более чем 30 областях. Месторождения таких вод встречаются в Московской и Псковской областях, в Краснодарском крае, ряде регионов Урала. В Республике Беларусь также есть месторождения сероводородных вод, однако их масштабы незначительны. Изучением сероводородных вод Браславского района занимался А. В. Кудельский [2]. Источники сульфидных подземных вод распространены в Словакии, Венгрии, Польше, Украине, США, Германии.

Использование данных запасов сероводородных вод, учитывая их специфические свойства и сложность очистки, для хозяйственно-питьевых целей весьма ограничено. Это приводит к необходимости поиска альтернативных источников водоснабжения. Для многих населенных пунктов это весьма затруднительно ввиду удаленности таких источников и высокой себестоимости водоподготовки и транспортировки воды. Решение данной проблемы заключается в возможности использования местных запасов сероводородных вод после соответствующей обработки. Однако существующие технологии либо неэффективны, либо являются весьма дорогостоящими.

Анализ существующих методов очистки подземных вод от сероводорода. Сероводород (H_2S) в обычных условиях представляет собой бесцветный газ с характерным запахом тухлых яиц. Употребление воды с высокими концентрациями сероводорода приводит к ухудшению памяти, бронхитам, фурункулезу, конъюнктивиту [3]. Его наличие в воде вызывает коррозию и зарастание металлических трубопроводов, разрушение растровых соединений труб и бетонных сооружений.

Растворенный в воде сероводород – это суммарное содержание недиссоциированных молекул газообразного H_2S , ионов гидросульфида HS^- и, весьма редко, сульфидов S^{2-} (при $pH > 10$). Соотношение определяется, главным

образом, величиной pH воды, в меньшей степени влияют температура и минерализация [4]. При обычных значениях pH подземных вод относительно небольшое его изменение (даже на единицу) может изменить соотношение молекулярно растворенного H_2S и ионно-растворенного HS^- в 5–10 раз.

Существующие методы удаления сероводорода из воды можно разделить на две основные группы: физико-химические и биологические (биохимические). Аэрация в качестве самостоятельного метода очистки сероводородных вод возможна при небольших концентрациях сероводорода и низких значениях pH воды. При $pH > 8$ более 90 % сероводорода находится в виде гидросульфидного иона HS^- , удаление которого дегазацией невозможно [4]. При использовании аэрационных методов удаления сероводорода за счет его частичного химического окисления кислородом воздуха происходит образование коллоидной серы, придающей воде мутность и опалесценцию [5]. Поэтому после аэрации возникает необходимость доочистки воды с применением коагулянтов, флокулянтов, процессов осветления и фильтрования. Кроме этого, происходящее в процессе аэрации нарушение сульфидно-карбонатного равновесия в связи с десорбцией H_2S и CO_2 часто приводит к зарастанию насадок дегазаторов образующимся $CaCO_3$, что вызывает серьезные эксплуатационные трудности [6–9].

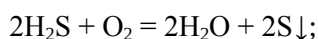
При химических методах удаления сероводорода наибольшее применение нашло хлорирование. В результате окисления сероводорода большими дозами хлора образуются кислота и ионы водорода, заметно снижающие pH воды, а при малых дозах происходит образование коллоидной серы, что требует последующего осветления воды для снижения появившейся мутности и устойчивой опалесценции. Для этого метода нужны сравнительно большой расход реагентов (не только хлора, но и коагулянтов), сложное реагентное хозяйство, складские помещения и транспортные расходы. Кроме

хлора, в качестве окислителей могут применяться перманганат калия, озон, диоксид хлора и другие реагенты. Этим методам присущи те же недостатки, что и при использовании хлора [6–7, 10].

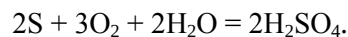
С точки зрения очистки сероводородсодержащих подземных вод, наибольший интерес вызывает биохимический метод. Сдерживающим фактором широкого применения биохимического метода являются его недостаточная изученность и необходимость проведения специальных технологических изысканий для определения оптимальных технологических параметров при очистке подземных вод конкретного источника водоснабжения [11]. В основе биохимических методов окисления соединений серы лежат естественные биологические процессы, обеспечивающие круговорот серы в природе [12]. Известно около 50 видов бесцветных серобактерий, принадлежащих к восьми родам, но изучены они слабо. В одну группу они объединены на основании одного признака – способности к накоплению внутри клеток глобул элементарной серы [12]. Данное обстоятельство является важнейшим при разработке технологии биохимической очистки сероводородсодержащих вод, так как этот процесс может обеспечить окисление сероводорода до серы без применения химических окислителей и образования трудноудаляемой коллоидной серы. Стационарность процесса может быть обеспечена своевременным выводом избыточной биомассы из него.

Механизм окисления сероводорода серобактериями (*Beggiatoa*) был установлен С. Н. Виноградским еще в 1885 г. [13]. Его многолетними исследованиями, послужившими основой открытия явления хемосинтеза, установлено, что окисление сероводорода серобактериями протекает в две стадии:

- на первой сероводород окисляется до элементарной серы, которая в виде глобул накапливается в протоплазме бактериальных клеток



- на второй при недостатке сероводорода серобактерии начинают окислять внутриклеточную серу до серной кислоты



Исследования и реализация биохимических методов удаления сероводорода из воды в разные годы проводились В. Д. Плешаковым [14], М. М. Калабиной [15], Г. Ю. Ассом [10, 16] и др. Метод, предложенный В. Д. Плешаковым, представлял собой сочетание частичной десорбции сероводорода аэрацией и биологического окисления серобактериями. Г. Ю. Ассом, с учетом исследований В. Д. Плешакова, был разработан биохимический метод удаления сероводорода из подземных вод с использованием аэрируемого биореактора с затопленной загрузкой, подачей воды и воздуха снизу вверх и последующим фильтрованием.

В. Д. Плешаковым и Г. Ю. Ассом были исследованы и реализованы различные, но принципиально не отличающиеся технологические схемы одноступенчатой биологической очистки подземных вод от сероводорода. Им обоим присущи следующие недостатки:

- для обеспечения нормативного содержания сероводорода в очищенной воде (0,003 мг/л), даже при его исходной концентрации в несколько мг/л, требуется обеспечение эффективности его удаления не менее 99,9 %, что практически не может быть достигнуто одноступенчатым биохимическим процессом в силу его специфики – недостатка субстрата;
- образование в очищаемой воде трудноудаляемой коллоидной серы за счет частичного окисления сероводорода кислородом воздуха;
- необходимость применения коагулянтов и окислителей для осветления воды и доокисления сероводорода и его производных;
- зарастание загрузки в биореакторах карбонатом кальция и серой вследствие нарушения сульфид-карбонатного равновесия при десорбции сероводорода и углекислоты в процессе аэрации;
- значительный выброс сероводорода в окружающую среду.

Экспериментальные исследования процессов биохимического удаления сероводорода. На основании исследований С. Н. Виноградского [13] и результатов проведенных лабораторных экспериментов по установлению влияния аэрационных процессов на состав и

свойства сероводородных вод [5] были разработаны технологические схемы биохимического удаления сероводорода. Технологические и конструктивные особенности данных схем базировались на предположении, что если производить умеренное насыщение воды кислородом воздуха, обеспечивающее только достаточные аэробные условия развития серобактерий, то при реализации двухступенчатого процесса можно обеспечить фиксацию образовавшейся серы внутри микробных клеток с последующим окислением ее до серной кислоты без образования трудноудаляемой коллоидной серы и снижением сероводорода до нормативных требований без применения химических реагентов.

Были проведены две серии исследований с использованием крупномасштабных пилотных установок биохимической очистки подземных вод от сероводорода в ст. Староминской Краснодарского края на действующей скважине в д. Новоясенская. В первой серии исследований испытывали две параллельно работающие технологические схемы. Схемы 1 и 2 отличались только схемой работы биореакторов. По схеме 1 биореактор работал с естественной аэрацией и нисходящим потоком очищаемой воды, по схеме 2 – с восходящим потоком и искусственной подачей воздуха компрессором в нижнюю часть биореактора. Биореакторы были заполнены специальной полимерной загрузкой с удельной поверхностью $180 \text{ м}^2/\text{м}^3$. В качестве второй ступени в обеих схемах использовали фильтры-биосорберы с плавающей полистирольной загрузкой.

Во второй серии исследований с целью исключения влияния водонапорной башни на состав исходной воды установки были подключены непосредственно к скважине. Из скважины вода поступала в расходный бак, откуда насосом подавалась на пилотные установки. В схеме 3 в отличие от схемы 1 биореактор был дополнен устройством для регулирования степени аэрации. В схеме 4 вместо фильтра с плавающей загрузкой использовали фильтр с песчаной загрузкой.

На основании анализа полученных данных наиболее эффективной из рассматриваемых оказалась схема 3, которая представлена на рис. 1. Результаты технологических исследований схемы 3 приведены в табл. 1.

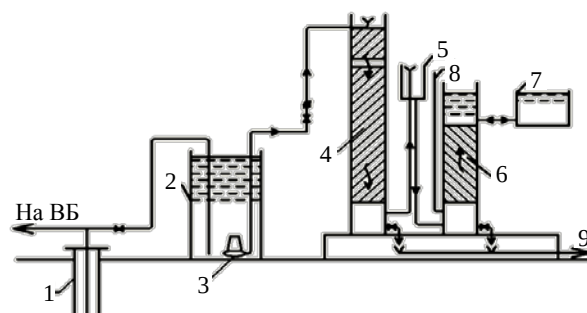


Рис. 1. Технологическая схема пилотной установки:

- 1 – скважина; 2 – расходный бак исходной воды;
- 3 – погружной насос; 4 – биореактор с нисходящим потоком и регулируемой аэрацией; 5 – дозирующий бак;
- 6 – фильтр-биосорбер с плавающей загрузкой;
- 7 – бак промывной воды; 8 – пьезометр;
- 9 – сброс очищенной и промывной воды

Таблица 1

Результаты технологических исследований по удалению сероводорода по схеме 3

Показатель	Значение показателя и концентрации при гидравлической нагрузке, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$											
	1,90			3,84			4,22			5,75		
	Исходная вода из скважины	Вода после биореактора	Вода после фильтра	Исходная вода из скважины	Вода после биореактора	Вода после фильтра	Исходная вода из скважины	Вода после биореактора	Вода после фильтра	Исходная вода из скважины	Вода после биореактора	Вода после фильтра
Температура, °C	13,20	13,500	13,400	14,70	15,500	15,2000	18,20	19,10	19,3000	17,50	18,70	18,4000
pH	8,30	8,200	8,100	8,25	8,200	8,1000	8,40	8,35	8,3000	8,30	8,50	8,5000
Eh	-235,00	98,000	108,000	-233,00	71,000	80,0000	-251,00	-4,00	66,0000	-243,00	-111,00	-2,0000
$r\text{H}_2$	8,50	19,800	20,000	8,40	18,900	19,0000	8,10	16,60	18,9000	8,20	13,10	16,9000
O_2 , мг/л	0,70	4,000	3,600	0,70	3,300	3,2000	0,60	2,80	2,6000	0,70	2,40	2,4000
H_2S , мг/л	2,32	0,013	0,002	2,33	0,019	0,0025	2,38	0,14	0,0028	2,34	0,64	0,0061

Анализ результатов исследований показывает, что биореактор обеспечивает удаление не менее 94 % сероводорода. Поэтому на фильтр поступает не более 5–6 % окисляемых соединений серы, что создает условия дефицита питания для содержащихся в них серобактерий (рис. 2). Это способствует дальнейшему окислению элементарной серы, накопившейся в клетках серобактерий на первой стадии окисления сероводорода в биореакторах, до сульфатов. Подтверждением этому является снижение pH в воде после фильтров. Резкое увеличение концентрации сероводорода в очищенной воде произошло при гидравлической нагрузке более $5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. В ранее проводимых исследованиях биохимического метода (В. Д. Плешаков, Г. Ю. Асс и др.) применяемые на последней стадии очистки фильтры рассматривались исключительно как механические, предназначенные для задержания выносимых из биореакторов биомассы и коллоидной серы. Как правило, перед ними в воду вводили коагулянт, а иногда и хлорсодержащие реагенты для доокисления сероводорода и дезинфекции фильтрующей загрузки [10, 16].

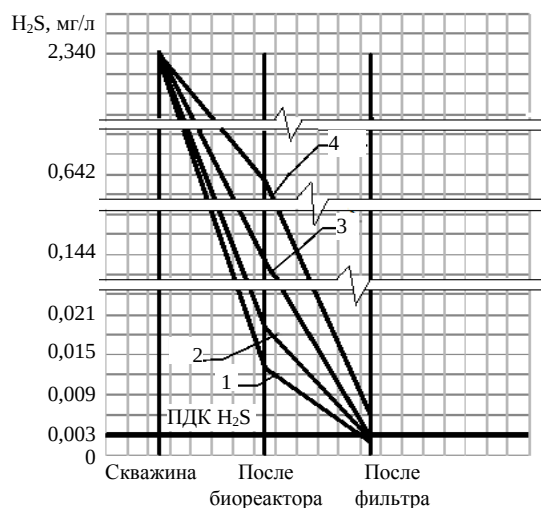


Рис. 2. Изменение концентрации сероводорода H_2S по ступеням очистки при гидравлической нагрузке, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$: 1 – 1,9; 2 – 3,84; 3 – 4,22; 4 – 5,75

Во всех исследованных технологических схемах изначально предполагалось использовать фильтры не столько как механические, а как биосорбционные, сущность работы которых заключается в биосорбции и биоокислении недоокисленных сернистых соединений задерживаемой

биомассой, выносимой из биореакторов, и окислении внутриклеточной серы. При этом возникают опасность биозаращения загрузки и ухудшение ее фильтрующей способности. Такая опасность не подтвердилась. Об этом свидетельствуют восстановление практически первоначальных потерь напора после периодической промывки фильтрующей загрузки, визуальный ее осмотр после окончания исследований и анализ промывной воды. Это, видимо, можно объяснить нитчатой структурой образующейся биомассы, легко удаляемой при промывках, а также спецификой протекающих биохимических процессов на каждой ступени очистки.

Обращают на себя внимание и абсолютные значения окислительно-восстановительных потенциалов E_h и $g\text{H}_2$ в воде после биореактора и фильтра (рис. 3). Они достигали плюс 98–108 мВ, что весьма существенно превышает значения этих показателей в исходной воде (минус 251–235 мВ) или достигаемых в процессе 1,5-часовой аэрации воды [5]. Это еще раз подтверждает предположение о том, что данные изменения происходят в результате жизнедеятельности серобактерий, которые способны повышать окислительные свойства среды и создавать условия для эффективного окисления сероводорода и его производных без применения химических реагентов.

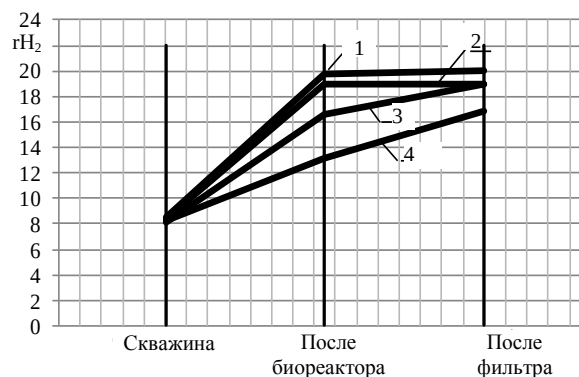


Рис. 3. Изменение величины $g\text{H}_2$ по ступеням очистки при гидравлической нагрузке, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$: 1 – 1,9; 2 – 3,84; 3 – 4,22; 4 – 5,75

ВЫВОДЫ

Результаты проведенных полномасштабных полупроизводственных испытаний позволили разработать новую двухступенчатую технологию. Данная технология позволяет решить две основные проблемы, которые были выявлены

при реализации ранее разработанных биотехнологий [10, 14]:

1) исключить образование трудноудаляемой коллоидной серы;

2) обеспечить снижение концентрации сероводорода до нормативных требований (0,003 мг/л) без применения химических реагентов.

При этом двухступенчатая технологическая схема должна включать:

- биореактор со специальной полимерной загрузкой с естественной аэрацией, обеспечивающей аэробные условия для протекающих биохимических процессов;

- фильтр-биосорбер с плавающей загрузкой и периодической регенерацией путем промывки очищенной водой.

Удельная гидравлическая нагрузка на биореактор не должна превышать $5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, или $120 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яроцкий, Л. А. Основные закономерности образования и распространения вод СССР / Л. А. Яроцкий. – М.: Наука, 1960. – С. 141–168.
2. Кудельский, А. В. Очерки по региональной гидрогеологии Беларуси / А. В. Кудельский; НАН Беларуси, Институт природопользования. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 192 с.
3. Вредные вещества в промышленности: справ. химиков, инженеров и врачей: в 3 т. / под ред. Н. В. Лазарева. – М.: Госхимиздат, 1976. – Т. 2: Органические вещества. – 592 с.
4. Алексин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алексин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 444 с.
5. Седлухо, Ю. П. Особенности биохимического удаления сероводорода из подземных вод / Ю. П. Седлухо, Ю. О. Станкевич // Актуальные проблемы градостроительства и благоустройства территорий: материалы VI Междунар. науч.-техн. конф., Кишинэу, 15–16 ноября 2012 г. / Тех. ун-т Молдовы; редкол. С. Калос. – Кишинэу, 2012. – С. 129–139.
6. Дуров, С. А. Очистка питьевой воды от сероводорода / С. А. Дуров. – Ростов н/Д: РНИИАКХ, 1935. – 36 с.
7. Линевиц, С. Н. Очистка природных и сточных сероводородных вод: учеб. пособие / С. Н. Линевиц. – Новочеркасск: НПИ, 1979. – 56 с.
8. Кастальский, А. А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / А. А. Кастальский, Д. М. Минц. – М.: Высш. шк., 1962. – 560 с.
9. Кульский, Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды (процессы и аппараты) / Л. А. Кульский. – Киев: Навук. думка, 1971. – 564 с.
10. Золотова, Е. Ф. Очистка воды от железа, фтора, марганца, сероводорода / Е. Ф. Золотова, Г. Ю. Асс. – М.: Стройиздат, 1975. – 176 с.
11. Технический справочник по обработке воды. Degremont: в 2 т. / под ред. М. И. Алексеева, В. Г. Иванова,

А. М. Курганова, Г. П. Медведева, Б. Г. Мишукова, Ю. А. Феофанова, Л. И. Цветкова, Н. А. Черникова. – СПб.: Новый журнал, 2007. – Т. 2. – 920 с.

12. Красильникова, Н. А. Жизнь растений: в 6 т. / Н. А. Красильникова; редкол. А. А. Федоров. – М.: Просвещение, 1974. – Т. 3: Бактерии и актиномицеты. – 840 с.

13. Виноградский, С. Н. Микробиология почвы: проблемы и методы. Пятьдесят лет исследований / С. Н. Виноградский. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 792 с.

14. Плешаков, В. Д. Удаление сероводорода из артезианских вод / В. Д. Плешаков. – М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1956. – 44 с.

15. Калабина, М. М. Биологическая очистка грунтовых вод / М. М. Калабина, Н. П. Лебедева. – М.: Изд-во ВНИИ ВОДГЕО, 1960. – 56 с.

16. Клячко, В. А. Очистка от сероводорода природных и сточных вод / В. А. Клячко, Г. Ю. Асс, О. Л. Левентон // Водоснабжение и санитарная техника. – 1973. – № 10. – С. 4–6.

REFERENCES

1. Yarotsky, L. A. (1960) *Main Regularities in Formation and Distribution of Water Resources in the USSR*. Moscow, Nauka, 141–168 (in Russian).
2. Kudelsky, A. V. (2010) *Essays on Regional Hydrogeology in Belarus*. Minsk, Belaruskaya Navuka. 192 p. (in Russian).
3. Lazarev, N. V., & Levina, E. N. (1976) *Hazardous Substances in Industry: Reference Book for Chemists, Engineers and Physicians. Vol. 2: Organic Substances*. Moscow, Goskhimizdat. 592 p. (in Russian).
4. Alexin, O. A. (1970) *Fundamentals of Hydrochemistry*. Leningrad, Gidrometioizdat. 444 p. (in Russian).
5. Sedlukho, Yu. P., & Stankevich, Yu. O. (2012) Peculiar Features in Biochemical Removal of Hydrogen Sulfide from Underground Water. *Actual Problems of Urban Planning and Land Improvement: Proceedings of VIth International Scientific and Technical Conference, Chisinau, November 15–16, 2012*. Chisinau: Technical University of Moldova, 129–139 (in Russian).
6. Durov, S. A. (1935) *Hydrogen Sulfide Removal from Drinkable Water*. Rostov on Don, RNIIAKKh. 36 p. (in Russian).
7. Linevich, S. N. (1979) *Purification of Natural and Sewage Hydrogen Sulfide Water*. Novocherkassk, NPI. 56 p. (in Russian).
8. Kastalsky, A. A., & Mints, D. M. (1962) *Preparation of Water for Potable and Industrial Water Supply*. Moscow, Vysshaya Shkola. 560 p. (in Russian).
9. Kulsky, L. A. (1971) *Theoretical Fundamentals and Technology for Water Conditioning (Processes and Devices)*. Kiev, Navukova Dumka. 564 p. (in Russian).
10. Zolotova, E. F., & Ass, G. Yu. (1975) *Purification of Water from Iron, Fluorine, Manganese, Hydrogen Sulfide*. Moscow, Stroyizdat. 176 p. (in Russian).
11. Alekseev, M. I., Ivanov, V. G., Kurganov, A. M., Medvedev, G. P., Mishukov, B. G., Feofanov, Yu. A., Tsvetkov, L. I., & Chernikov, N. A. (2007) *Technical Reference Book for Water Treatment. Degremont. Vol. 2*. Saint-Petersburg, Novy Zhurnal. 920 p. (in Russian).
12. Krasilnikova, N. A., & Fedorov, A. A. (1974) *Plant Life. Vol. 3: Bacteria and Actinomycetes*. Moscow, Prosveshchenie. 840 p. (in Russian).

13. **Vinogradsky, S. N.** (1952) *Microbiology of Soil: Problems and Methods. Fifty Years of Research*. Moscow, Publishing House of Academy of Sciences USSR. 792 p. (in Russian).

14. **Pleshakov, V. D.** (1956) *Removal of Hydrogen Sulfide from Artesian Water*. Moscow, Publishing House MKKh RSFSR. 44 p. (in Russian).

15. **Kalabina, M. M., & Lebedeva, N. P.** (1960) *Biological Purification of Ground Water*. Moscow, Publishing House VNII VODGEO. 56 p. (in Russian).

16. **Kliachko, V. A., Ass, G. Yu., & Leventon, O. L.** (1973) Hydrogen Sulfide Removal from Natural and Sewage Water. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika* [Water Supply and Sanitary Engineering], 10, 4–6 (in Russian).

Поступила 19.06.2014

УДК 504.062.2:556.18 (075.8)

ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЕМОВ И РЕЖИМОВ ПОДАЧИ ВОДЫ НА ОРОШЕНИЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТОКА РЕК ПРЕДГОРНЫХ РАЙОНОВ ВЬЕТНАМА

Асн. ФАМ НГОК КИЕН

Белорусский национальный технический университет

E-mail: kienpecc1@gmail.com

Эффективное использование водохозяйственного комплекса является необходимостью многих стран мира, особенно развивающихся, как Вьетнам. Во Вьетнаме одной из отраслей с высокой потребностью в воде и большим изменением ее расхода в течение года является орошение сельскохозяйственных культур, в основном риса. Потребность в воде на нужды орошения зависит не только от культур, климата, но и от выпадающих осадков. Но такими осадками невозможно управлять. Однако выпадающие осадки, в свою очередь, формируют речной сток, а стоком рек управлять можно с помощью его регулирования (создания водохранилищ). Поэтому важно знать, каким образом величина речного стока связана с потребностями в воде на орошение.

Рассмотрены связи между режимом орошения и режимом речного стока, что особенно актуально для бассейнов рек предгорных районов Вьетнама, где в течение года собирают два-три урожая, а сток рек в различные вегетационные периоды может существенно (до 10 и более раз) отличаться. Эта связь формируется на основе отношений между потребностями в воде орошения и количеством осадков, между количеством осадков и речным стоком в бассейне. Отношение между потребностью в воде орошения (полив нормы) и речным стоком (слой стока) в бассейне является одним из результатов расчетов, необходимых для оптимизации параметров и режимов работы водохозяйственного комплекса в бассейнах малых рек предгорных районов Вьетнама.

Ключевые слова: водохозяйственный комплекс, режим подачи воды, орошение, предгорный район Вьетнама.

Ил. 2. Табл. 3. Библиогр.: 10 назв.

SUBSTANTIATION OF WATER DELIVERY VOLUME AND MODE FOR IRRIGATION DEPENDING ON RIVER FLOWS IN SUBMONTANE REGIONS OF VIETNAM

PHAM NGOC KIEN

Belarusian National Technical University

The efficient usage of water utilization system is a necessary element for many countries in the world, especially for such developing countries as Vietnam. One of the sectors in the Vietnamese economy that requires high water consumption and great changes in its flow rates is irrigation of agricultural crops, especially rice. Water irrigation demands depends not only on crops, climate but also on precipitation. But it is impossible to control precipitation. However, precipitation forms a river flow and the river flow can be controlled with the help of its regulation (creation of water reservoirs). Therefore it is important to know how the river flow rate is interconnected with water demand for irrigation.

The paper considers relations between water demands for irrigation and the river flow, which is especially important for river basins in submontane regions of Vietnam, where crops are harvested 2–3 times per year, and a river flow in various growing periods can be significantly (up to 10 times or more) different. This relationship is formed on the basis of relations between water demand for irrigation and precipitation amount, and between precipitation amount and a river flow in the basin. The relationship between water demands for irrigation (water duty) and river flow (runoff depth) in the river basin is used for optimization of parameters and operational modes of water utilization system in small river basins in the submontane areas of Vietnam.

Keywords: water utilization system, water delivery mode, irrigation, submontane region of Vietnam.

Fig. 2. Tab. 3. Ref.: 10 titles.

Теория определения связей между потребностью в воде орошения и осадками, осадками и речным стоком. Связь между потребностью в воде орошения и осадками. Уравнение водного баланса орошаемой площади применительно к условиям Вьетнама можно представить в пригодном для практического использования виде [1]

$$X_{IRR} = (ET_C + P + LP) - X_{eff}, \quad (1)$$

где X_{IRR} – количество воды, требуемое для полива с учетом выпадающих осадков; ET_C – количество воды, потребляемой растениями (эвапотранспирация); P – количество воды, расходуемой на фильтрацию; LP – количество воды на влагозарядковые поливы в начале вегетации (подготовка почвы к посадке растений); X_{eff} – активные осадки, поступающие непосредственно в активный слой почвы (разность между выпадающими и используемыми растениями осадками).

Количество воды, расходуемой на эвапотранспирацию:

$$ET_C = ET_0 K_C, \quad (2)$$

где K_C – коэффициент, зависящий от вида растения и вегетационных периодов, определяется из экспериментов для разных культур (значения этих коэффициентов для разных районов Вьетнама приведены в стандарте TCVN 8641:2011 [2]); ET_0 – испаряемость свободной водной поверхности (эталонная эвапотранспирация, в мм·сут.⁻¹), определяемая по уравнению Пенмана – Монтейта, которое было выведено из первоначального уравнения Пенмана – Монтейта, а также уравнений аэродинамики и сопротивления кроны.

На величину ET_0 влияют следующие факторы:

- чистая радиация на поверхности растений (МДж·м⁻²·сут.⁻¹);
- плотность теплового потока почвы (МДж·м⁻²·сут.⁻¹);
- среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м (°C);
- скорость ветра на высоте 2 м (м·с⁻¹);
- давление пара насыщения (кПа);
- фактическое давление (кПа);
- дефицит давления пара насыщения (кПа);
- градиент кривой давления пара (кПа·°C⁻¹);
- психрометрическая постоянная (кПа·°C⁻¹).

Количество воды на фильтрацию определяется по формуле

$$P = Kt, \quad (3)$$

где K – коэффициент стабильной проницаемости почвы (мм/сут.); t – время расчета (сут.).

Активные осадки

$$X_{eff} = CX, \quad (4)$$

где X – количество расчетных осадков (мм); C – коэффициент эффективных осадков для орошения ($C < 100$ %), который может приниматься по FAO [1, 3].

Количество воды на влагозарядковые поливы в начале вегетации LP (м³/га) зависит от типа почв, сезона года и местных условий. Для рассматриваемых районов Вьетнама величина LP определяется в соответствии с [1, 2].

Для нагорных культур $X_{IRR} = ET_C - X_{eff}$, так как величины P и LP сравнительно небольшие и находятся в пределах точности расчета.

Связь между осадками и речным стоком. Взаимосвязь осадков, испарения, речного и подземного стоков может быть представлена уравнением водного баланса, учитывающим приход и расход воды за определенный интервал времени на рассматриваемой территории. Для замкнутого речного бассейна уравнение водного баланса более сложно, особенно применительно к небольшим интервалам времени (месяц, сезон). При составлении баланса за год в целом используется уравнение [3, 4]

$$X = R + E \pm \Delta U, \quad (5)$$

где X – выпавшие на водосбор реки осадки; R – речной сток (слой стока), включающий поверхностную (R_1) и подземную (R_2) составляющие, т. е. $R = R_1 + R_2$; E – суммарное испарение с водосборной площади речного бассейна; ΔU – изменение запасов воды в подземных бассейнах и поверхностных водоемах.

Соотношение между речным стоком и осадками характеризуется коэффициентом речного стока α , который отражает уровень потерь воды в речном бассейне [4]:

$$\alpha = \frac{R}{X}. \quad (6)$$

Коэффициент речного стока зависит от топографических и геологических условий, климата, распределения осадков, растительного покрова, почвы и находится в пределах $1 \geq \alpha \geq 0$. В среднем на целом континенте Земли 100 единицам осадков соответствуют 38 единиц поверхностного стока, поступающего в море, одна единица потока подземных вод в море и 61 единица испарения с континента [4]. Таким образом, средний коэффициент речного стока α по континенту в целом может быть принят равным 0,38. Однако в разных речных бассейнах значение этого коэффициента может существенно отличаться и для года в целом находиться в пределах $1 > \alpha > 0$. Для месячных интервалов времени коэффициент речного стока может превышать единицу (например, в межсезонный период, когда река переходит преимущественно на питание подземными водами).

Связь между потребностью в воде на нужды орошения и речным стоком. Предположительные условия. Установление связи между потребностью в воде на нужды орошения и речным стоком основывается на следующих предположениях.

1. Для вегетационного периода средние относительные (на единицу площади) величины объемов воды на орошение и объемов речного стока на всех оросительных площадях рассматриваемых речных бассейнов примерно одинаковы, поскольку природные условия и климат в районе их водосборов похожи.

2. Рассматривается устойчивая посевная площадь с определенной типовой культурой (рис. 1, 2).

3. Соотношение между осадками i -го месяца (декады) и средними за вегетационный период

осадками пропорциональны соотношению объемов речного стока за эти же интервалы времени, что подтверждено данными наблюдений за осадками и речным стоком в рассматриваемых бассейнах рек с относительно небольшой площадью водосбора (расположенными в горных и предгорных районах Вьетнама) и отражено в гидрологических характеристиках водных объектов Вьетнама [5]. Конкретные данные по двум бассейнам – Камчанг [6] и Наммык [7] – приведены в табл. 1, 2.

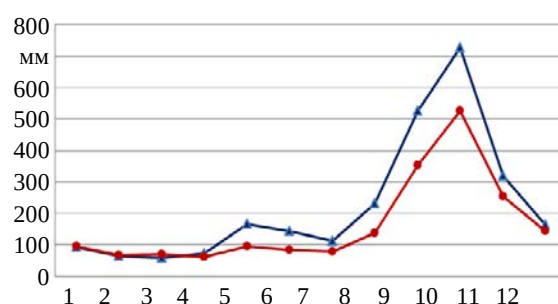


Рис. 1. График режимов осадков и речного стока бассейна Камчанг: —▲— — среднее месячное количество осадков типичного поста (мм); —●— — слой стока бассейна (мм)

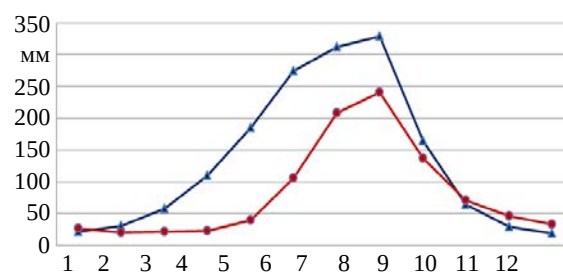


Рис. 2. График режимов осадков и речного стока бассейна Наммык: —▲— — среднее месячное количество осадков типичного поста (мм); —●— — слой стока бассейна (мм)

Таблица 1

Соотношение между осадками и речным стоком в бассейне Камчанг

Показатель	Единица измерения	Месяц												Итого
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Среднемесячное количество осадков	мм	93,20	64,20	60,10	73,70	167,30	143,70	112,60	232,20	525,00	727,60	318,30	164,30	2682,00
Слой речного стока	мм	94,70	68,40	69,20	61,30	96,40	85,10	78,80	138,70	353,00	525,70	255,00	144,30	1971,00
Коэффициент речного стока α		1,02	1,07	1,15	0,83	0,58	0,59	0,70	0,60	0,67	0,72	0,80	0,88	0,73

Таблица 2

Соотношение между осадками и речным стоком в бассейне Наммык

Показатель	Единица измерения	Месяц												Итого
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Среднемесячное количество осадков	мм	22,00	31,00	58,00	110,00	185,00	274,00	312,00	329,00	165,00	65,00	30,00	19,00	1600,00
Слой стока бассейна	мм	27,70	21,10	21,70	23,90	39,60	106,10	209,00	240,40	137,80	71,10	46,40	34,20	979,00
Коэффициент речного стока α		1,26	0,68	0,37	0,22	0,21	0,39	0,67	0,73	0,84	1,09	1,55	1,80	0,61

Для расчетного периода года (i -го месяца или i -й декады) на единицу площади (га) формула (1) приобретает вид

$$X_{IRR}^i = (ET_C + LP + P)^i - X_{eff}^i \geq 0. \quad (7)$$

Обозначив $A = LP + ET_C + P$, с учетом (1) и (3) получим:

$$X_{IRR}^i = A^i - X_{eff}^i \geq 0; \quad X_{IRR}^i = A^i - C^i X^i \geq 0, \quad (8)$$

где A – количество воды, необходимой растениям; величина A зависит от почвы, сельскохозяйственной культуры и климата (температуры, влажности воздуха, скорости ветра, времени и интенсивности солнечной радиации), таким образом, A не зависит от осадков, т. е. не связана с речным стоком в бассейне; X_{eff} – количество активных осадков; C – коэффициент эффективных осадков для орошения (в % или в долях от единицы); X – количество осадков.

Тогда с учетом формулы (6) получим

$$X_{IRR}^i = A^i - \frac{C^i}{\alpha^i} R^i \geq 0. \quad (9)$$

Обозначим

$$\frac{C^i}{\alpha^i} = k^i, \quad (10)$$

где k – виртуальный коэффициент, который показывает соотношение между количеством воды, потребляемой культурами за счет эффективных осадков на рассматриваемой площади орошения и речным стоком, который мог бы сформироваться от всех осадков, выпадающих на этой площади.

По FAO, за месяц в условиях Вьетнама: $C = 0,7-0,9$ и $\alpha = 2,0-0,2$, тогда $k \sim 0,4-4$. Максимальная величина этого коэффициента обратно пропорциональна коэффициенту речного стока при близком к единице коэффициенте эффективности осадков и для большинства речных бассейнов Вьетнама не превышает 4,0 (табл. 3). При значениях k , превышающих единицу, поливы культур могут вообще не потребоваться.

Таблица 3

Коэффициент k в конкретных бассейнах

Бассейн	Показатель	Месяц												ТВ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Камчанг	C	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	α	1,02	1,07	1,15	0,83	0,58	0,59	0,70	0,60	0,67	0,72	0,80	0,88	0,73
	k	0,84	0,80	0,74	1,02	1,48	1,44	1,21	1,42	1,26	1,18	1,06	0,97	1,16
Наммык	C	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	α	1,26	0,68	0,37	0,22	0,21	0,39	0,67	0,73	0,84	1,09	1,55	1,80	0,61
	k	0,68	1,25	2,27	3,91	3,97	2,20	1,27	1,16	1,02	0,78	0,55	0,47	1,39

На основании (9) и (10) автором предлагается следующая формула для определения объема воды на нужды орошения на единицу площади (норма орошения):

$$X_{IRR}^i = A^i - k^i R^i \geq 0, \quad (11)$$

где A – количество воды, требуемой растениям; R – слой стока; k – виртуальный коэффициент, зависящий от величин C и α расчетного интервала времени (i -го месяца или i -й декады).

Формула (11) идентична (8), но она отражает связи между объемами и режимами подачи воды на орошение и речным стоком в створе забора воды на нужды орошения. Практически только часть этой формулы, т. е. выражение $k^i R^i$, показывает соотношение между речным стоком и орошением, а влияние других факторов учитывает величина A , которая, как уже отмечалось выше, для разных регионов Вьетнама может быть различной. В результате расчетов по этой формуле можно определить объемы стокорегулирующих водохранилищ ирригационного назначения. Целесообразность использования предлагаемой формулы подкрепляется тем, что в ней берутся не абсолютные (находящиеся в больших диапазонах) данные о речном стоке, а его относительные, более устойчивые значения.

Адаптация формулы для конкретного бассейна и оценка влияния параметров формулы на результат расчетов. Предлагаемая формула (11) в основном предназначена для определения оптимальных режимов регулирования речного стока (наполнения и сброса водохранилищ) в бассейнах рек, в которых орошение является лимитирующим водопользователем [8–10]. Для расчетов по (11) требуются достоверные данные о коэффициенте k и величине A , которые в каждом бассейне могут быть разными.

Коэффициент k зависит от отношения C/α каждого расчетного интервала. По сути, два коэффициента C и α восполняют друг друга. Коэффициент активных осадков C представляет собой уровень удержания дождевой воды на поле, которая в значительной степени превращается в эвапотранспирацию (кроме части глубокого проникновения и поверхностный сток). Наоборот, коэффициент речного стока α характеризует степень превращения осадков в по-

верхностный и подземный стоки, т. е. кроме части удержания на поверхности бассейна, которая превращается в эвапотранспирацию. Тем не менее из-за особенностей почвы, наклона поверхности, состава растений и других специфических факторов в бассейнах горных и равнинных рек коэффициенты C и α могут не восполнять друг друга.

По указанию FAO и анализу условий Вьетнама, коэффициент C может принимать постоянное значение (85 %), причем меньшее соответствует сезону дождей, а большее – сухому сезону. Например, для конкретных бассейнов Камчанг и Наммык этот коэффициент может быть принят постоянным в течение всего года и равным $C = 0,85$.

В малых речных бассейнах горных районов саморегулирующая способность рек невелика, и существенных различий между режимами речного стока и осадков не имеется, так как отклонение времени их формирования небольшое. В этом случае можно считать приблизительно постоянным коэффициент α , тогда $k = \text{const} = \bar{k}$, и уравнение (11) записывается

$$X_{IRR}^i = A^i - \bar{k} R^i \geq 0. \quad (12)$$

По формуле (12) при одной и той же независимой величине A при минимальном речном стоке необходимый объем воды на нужды орошения будет достигать максимума и, наоборот, при большой величине речного стока потребность в воде на орошение X_{IRR} стремится к нулю. Следовательно, в период сезона дождей, когда необходимость полива сельскохозяйственных культур отсутствует, эта связь может и не учитываться. Но в сухой сезон учет такой связи обязателен.

ВЫВОД

Полученная зависимость между объемами подачи воды на орошение и речным стоком может быть использована для выбора оптимальных параметров и режимов работы водохозяйственного комплекса в предгорных районах Вьетнама. Для ее адаптации к конкретным речным бассейнам требуются данные об индивидуальных для речного бассейна (или группы бассейнов того или иного региона) коэффициентах k , которые могут быть получены в результате

обработки и обобщения информации о расчетных потребностях в воде на орошение, осадках и речном стоке за вегетационные периоды года.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Crop** Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56 / R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith. – Rome: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1998. – 280 с.
2. **Техника** орошения и осушения для сельскохозяйственных и продовольственных культур: TCVN 8641:2011. – Вьетнама: Ханой, 2011. – 41 с.
3. **Example** of the Use of Cropwat 8.0. – India: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1998. – 75 p.
4. **Инженерно-гидрологический** учебник. – Вьетнам: Вьетнамский ирригационный ун-т, 2005. – 263 с.
5. **Характеристики** гидрологии и водных ресурсов Вьетнама. – Ханой: Вьетнамское сельское хозяйство, изд-во, 2007. – 418 с.
6. **Данные** гидрологии и водопользования ирригационной системы Нгантьой – Камчанг. – Ханой: Вьетнамская консультативная компания об ирригационном строительстве (HEC), 2008. – 47 с.
7. **Данные** гидрологии проекта Наммык / Консультативная компания об энергетическом строительстве № 01 (PECC1). – Ханой, 2006. – 40 с.
8. **Колобаев, А. Н.** Рациональное использование и охрана водных ресурсов / А. Н. Колобаев. – Минск: БНТУ, 2005. – 172 с.
9. **Ирригационное** планирование северной части центрального района Вьетнама. – Вьетнам: Вьетнамский ирригационный планированный ин-т (IWRP), 2011.
10. **Киен, Фам Нгок.** Особенности водохозяйственного комплекса в бассейнах рек предгорных районов Вьетнама / Фам Нгок Киен // Доклад на Междунар. науч. конф. – Брест, 2014.

REFERENCES

1. **Allen, R. G.,** Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998) *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.* Rome: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 280 p.
2. **Ministry** of Science and Technology, 2011, TCVN 8641:2011: *Hydraulic Structures. Irrigation and Drainage Techniques for Provisions Crops.* Vietnam, Hanoi. 41 p. (in Vietnamese).
3. **Example** of the Use of Cropwat 8.0. India, FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1998. 75 p.
4. **Engineering** and Hydrological Textbook. Vietnam, Hanoi, Irrigation University, 2005. 263 p. (in Vietnamese).
5. **Characteristics** of Hydrology and Water Resources of Vietnam. Hanoi, Vietnamese Agricultural Publishing House, 2007. 418 p. (in Vietnamese).
6. **Hydrology** and Water Management Data for Irrigation System Ngan Tuoi – Kam Trang. Hanoi, Vietnamese Consultative Company for Irrigation Construction (HEC), 2008. 47 p. (in Vietnamese).
7. **Hydrology** Data for Nam Muc Project. Consultative Company for Power Engineering Construction No-01 (PECC1). Hanoi, 2006. 40 p. (in Vietnamese).
8. **Kolobaev, A. N.** (2005) *Sustainable Use and Protection of Water Resources.* Minsk: BNTU. 172 p. (in Russian).
9. **Irrigation** Planning of the Northern Part of Central Region in Vietnam. Vietnam, Vietnamese Irrigation Planning Institute (IWRP), 2011. (in Vietnamese).
10. **Kien, Pham Ngoc.** Peculiar Features of Water Resources System in River Basins of Submontane Regions in Vietnam. Report Presented on International Scientific Conference. Brest, 2014 (in Russian).

Поступила 18.12.2014

УДК 624.154.04:624.156.04]:624.131.213

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАЙНО-ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ИЗ КОРОТКИХ КОНИЧЕСКИХ СВАЙ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДКАХ г. МИНСКА

Канд. техн. наук, доц. СЕРНОВ В. А.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: sernoff2@yandex.ru

В последнее время в связи с увеличением этажности строящихся зданий в г. Минске и возрастанием нагрузок на основание все чаще применяются свайные фундаменты даже при залегании в верхней части основания относительно прочных грунтов. В таких случаях первоочередной задачей для проектировщиков становится максимальное исполь-

зование несущей способности основания и снижения стоимости фундаментов. Одним из путей повышения несущей способности свайных фундаментов является учет сопротивления грунта основания под подошвой фундаментной плиты, которая, как и фундамент мелкого заложения, способна передавать на грунт значительную часть нагрузки от здания. Такой подход позволяет сократить число свай в фундаменте или уменьшить их длину. В результате сокращаются сроки строительства и существенно уменьшается стоимость нулевого цикла. Тем не менее в нашей стране до настоящего времени не было внедрено в проектную практику достоверных методов расчета, позволяющих учесть сопротивление грунтов в основании фундаментных плит. Для разработки данных методов выполнен анализ исследований разных авторов по этой теме и проведена серия натурных исследований.

Приведены результаты натурных испытаний фундаментов, состоящих из коротких выштампованных конических свай, объединенных фрагментом фундаментной плиты. При устройстве таких фундаментов в насыпных грунтах прочностные и деформационные характеристики оснований возрастают, и насыпной слой становится несущим как для свай, так и для ростверка. Улучшение свойств мягкопластичных глинистых грунтов происходит также за счет втрамбовывания под нижний конец сваи сухой бетонной смеси. В статье отражен опыт применения свайно-плитного фундамента в сложных инженерно-геологических условиях при строительстве православного храма в г. Минске.

Ключевые слова: свайно-плитный фундамент, короткая коническая свая, натурные испытания.

Ил. 6. Табл. 1. Библиогр.: 10 назв.

FIELD INVESTIGATIONS OF PILED-RAFT FOUNDATIONS WITH SHORT-LENGTH CONIC PILES IN BUILDING AREAS OF MINSK

SERNOV V. A.

Belarusian National Technical University

In recent time piled foundations are extensively applied due to an increase of storeys in buildings constructed in Minsk and load increment on the soil. Preference is given to this approach even in the case when relatively firm soil occurs in the top part of the foundation bed. In this case maximum usage of the foundation bed bearing capacity and reduction of foundation cost are considered as top-priority tasks for designers. One of the ways to increase the bearing capacity of piled foundations is the necessity to take into account resistance of foundation bed soil located under raft bottom. The raft as well as a shallow foundation is capable to transfer a significant part of building load into the soil. Such approach makes it possible to reduce a number of piles in the foundation or shorten their length. Then it results in shortening of the construction period and significant reduction in zero cycle. However up to the present moment reliable calculation methods that permit to take into account soil resistance in the raft base. An analysis of previous investigations on the matter executed by various researchers and a number of field investigations have been carried out with the purpose to develop the proposed methods.

The paper presents results of field investigations on foundations consisting of short stamped tapered piles which are joined together with the help of the raft fragment. Strength and deformation characteristics of the bases are increasing while making such foundations in the fill-up soil. In this case the filled-up ground layer becomes a bearing layer both for piles and rafts as well. Improvement of high-plastic clay-bearing soil properties is ensured by ramming dry concrete mix under pile foot. The paper describes an experience on application of the piled-raft foundation in complicated engineering and geological conditions while constructing the Orthodox Church in Minsk.

Keywords: piled-raft foundation, short conic pile, field investigations.

Fig. 6. Tab. 1. Ref.: 10 titles.

Введение. В настоящее время наметилась тенденция увеличения этажности зданий. В связи с этим возрастают нагрузки, передаваемые на основание. В условиях стесненной застройки расчетное давление на грунты в основании 30-этажных жилых зданий достигает 0,7 МПа. Ранее в нашей стране и странах ближнего зарубежья никогда не сталкивались с такими давлениями при строительстве зданий и сооружений на не скальных грунтах. За рубежом фундаменты большинства высотных зданий опираются на малосжимаемое скальное основание. Территория Республики Беларусь

сложена в основном четвертичными отложениями (за исключением юга страны), не обладающими достаточной прочностью и деформационными характеристиками для восприятия нагрузок при строительстве зданий на естественном основании. Этот фактор приводит к более широкому применению свайных фундаментов даже при залегании у поверхности относительно прочных грунтов. Поскольку модули деформации грунтов Беларуси редко превышают 50 МПа, для эффективного снижения осадки высотных зданий до предельно допустимых значений длину свай приходится зада-

вать около 15 м и более. На таких глубинах дополнительные давления от здания в значительной мере компенсируются природным давлением грунта, глубина сжимаемой толщи уменьшается и соответственно снижается осадка фундамента. Применение свай в указанных условиях хоть и является эффективным способом увеличения несущей способности и уменьшения деформативности основания, однако требует значительно больших капиталовложений по сравнению с плитным фундаментом на естественном основании.

Большая стоимость устройства свайных фундаментов под высотные здания, особенно в стесненных условиях городской застройки, заставила искать новые пути повышения их эффективности, одним из которых является уточнение расчетных схем и методов расчета. В этих случаях, как показали многочисленные экспериментальные исследования, при наличии контакта фундаментной плиты с грунтом часть внешней нагрузки передается на основание через ее подошву.

Анализ зарубежных исследований свайно-плитных фундаментов. Впервые вопрос об учете сопротивления грунта в основании плиты ростверка был рассмотрен К. И. Добровольским в 1935 г. [1]. В дальнейшем, начиная с 1937 г., В. Н. Голубковым [2], В. А. Юдиным [3], А. А. Бартоломеем [4] и другими проведено множество натурных испытаний фрагментов свайно-плитных фундаментов в разных грунтовых условиях. Исследования показали, что при взаимодействии плиты с основанием несущая способность фундамента возрастает с 33 до 137 % в зависимости от длины свай и площади плиты, а осадка значительно снижается [5]. Этот факт противоречит традиционному предположению, что межсвайный грунт оседает вместе со сваями и не способен воспринимать нагрузку от плиты. Исследования траектории движения частиц грунта в основании забивных свай и ростверка, проведенные В. А. Кондрашовым в 70-е гг. прошлого столетия [6], показали, что при осадке группы свай без ростверка деформации межсвайного грунта происходят лишь в непосредственной близости от боковых поверхностей свай и под их нижними концами. Грунт межсвайного пространства оседает при включении в работу роствер-

ка. Эпюры деформаций грунта под ростверком и фундаментом на естественном основании аналогичны. Данные, полученные В. А. Кондрашовым, хорошо согласуются с исследованиями Л. Д. Козачка [7]. Экспериментально установлено, что распределение напряжений в основании ростверка аналогично фундаменту на естественном основании. Данные выводы подтверждаются результатами исследований деформаций грунта межсвайного пространства глубинными марками в лаборатории свайных фундаментов НИИОСПа [8] и В. А. Юдина [3].

Проведенный анализ испытаний групп свай с несущими ростверками статическими нагрузками, выполненных до настоящего времени разными авторами на различных строительных площадках, показал, что при включении ростверка в работу фундамента достигается значительный экономический эффект. Однако авторы проведенных испытаний не задавались целью изучить закономерности взаимодействия ростверка с основанием и сваями. В связи с этим главная задача автора статьи – экспериментально установить основные факторы, влияющие на взаимодействие фундаментной плиты с основанием.

Натурные исследования фрагментов свайно-плитных фундаментов. Для оценки эффективности свайно-плитных фундаментов из коротких конических свай на различных строительных площадках г. Минска были выполнены статические испытания как отдельных свай, так и фрагментов фундаментов.

При строительстве дома по улице Бельского, 48 в г. Минске в 2001 г. у поверхности залежали суглинки прочные и средней прочности, а на глубине более 10 м – пылеватые суглинки с прослойками торфа. Существовало два альтернативных решения: устройство свай длиной более 12 м, чтобы пройти эти слои, либо коротких свай, чтобы передать всю нагрузку от сооружения на поверхностные, более прочные грунты. Был принят второй вариант: выштампованные конусные сваи уплотнения длиной 3–4 м с уширениями нижних концов и включением в работу ростверка. Это привело к значительному удешевлению проекта по сравнению с первым вариантом. Здесь сопротивляемость грунта сжатию была увеличена на 80 % за счет уширений на нижних концах свай. При вклю-

чении ростверка в работу несущая способность фундамента возросла еще на 30 %. Коэффициент влияния ростверка составил $K_p = 1,30$. Графики зависимости осадки от нагрузки $S = f(P)$ для конических свай диаметрами поверху 0,50 м, понизу 0,25 м, длиной 3,00 м и для пары свай совместно с фрагментом ростверка размерами в плане 0,9×1,8 м приведены на рис. 1.

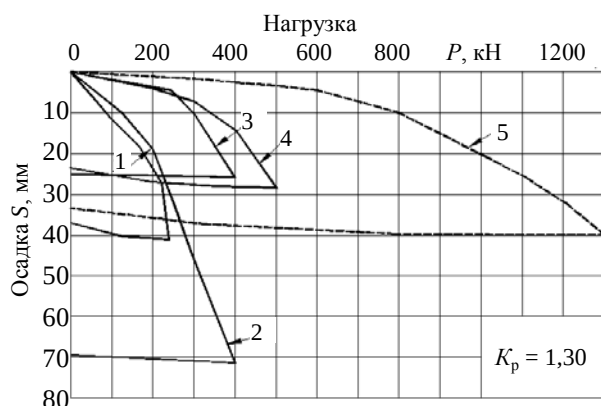


Рис. 1. Результаты статических испытаний конических свай с уширенной пятой, в том числе по две с фрагментами ростверка: 1, 2 – испытания свай без уширений; 3, 4 – то же после устройства и набора прочности уширений; 5 – то же с фрагментом ростверка

По данным инженерно-геологических изысканий, в пятне застройки здания в районе улиц Притыцкого – Бельского в г. Минске основание строительной площадки неоднородно, сложено глинистыми грунтами и мелкозернистыми песками различной прочности с линзами и прослойками торфа. Поскольку у поверхности залегал мощный слой насыпного грунта (до 4 м), были приняты выштампованные конические сваи уплотнения, позволяющие избежать воздействия сил отрицательного трения на боковую поверхность и уплотнить основание в межсвайном пространстве. Такое решение привело к значительному снижению стоимости фундамента, однако испытания свай статической нагрузкой выявили их недостаточную несущую способность. В связи с этим в 2004 г. были выполнены испытания фрагментов свайных фундаментов совместно с ростверками.

Всего на данном объекте испытаны три фрагмента ростверка с двумя и тремя сваями под каждым (рис. 2–4). Для оценки влияния ростверков предварительно испытывали оди-

ночные сваи, а затем – совместно с фрагментом ростверка. Первый фрагмент ростверка выполнен по головам двух свай № 55 и 58 длинами по 4,00 м и диаметрами на верхних концах по 0,43 м и на нижних по 0,28 м. Второй фрагмент ростверка выполнен по головам двух свай № 741 и 743 длинами по 4,00 м и диаметрами на верхних концах по 0,53 м и на нижних по 0,30 м. Третий фрагмент ростверка выполнен по головам двух свай № 375 и 377 длинами по 3,00 м и диаметрами поперечных сечений на верхнем и нижнем концах 0,43 м и 0,28 м. У всех свай сделаны уширения пят от втрамбовывания сухой бетонной смеси в объемах по 0,2 м³. Коэффициенты влияния ростверков (K_p – отношение несущих способностей фрагментов с контактом ростверка с грунтом и без контакта) составили $K_p = 2,03$; 1,3; 1,49 для фрагментов № 1, 2, 3 соответственно.

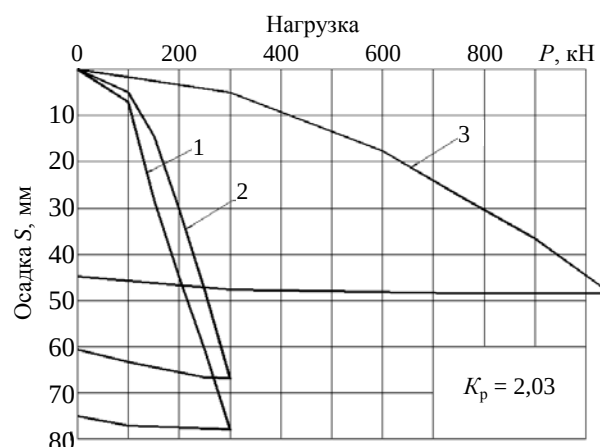


Рис. 2. Результаты испытаний фрагмента № 1: 1 – свая № 55; 2 – то же № 58; 3 – фрагмент из двух свай с ростверком

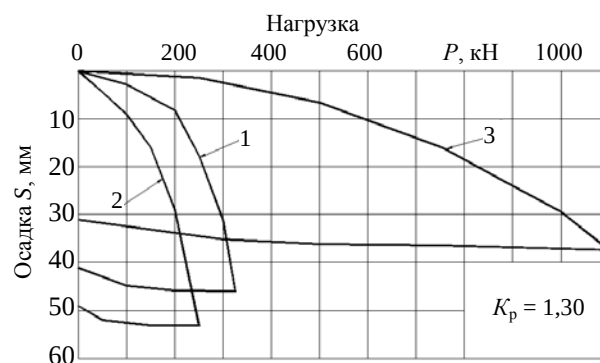


Рис. 3. Результаты испытаний фрагмента № 2: 1 – свая № 741; 2 – то же № 743; 3 – фрагмент из двух свай с ростверком

При строительстве жилого дома в квартале улиц Кропоткина – Старовиленской выполнены испытания четырех фрагментов забивных свай с низкими ростверками в песчаных грунтах. Грунтовые условия площадки представлены до глубины 2,0 м насыпными песчаными грунтами. Ниже залегают пески разной прочности и крупности. Исследуемые фрагменты состояли из трех забивных свай длинами 4,0 и 5,0 м, диаметрами по 0,3 м с шагом $a = 3d$ и ростверка размерами в плане 1,5×1,5 м и высотой 1,1 м.

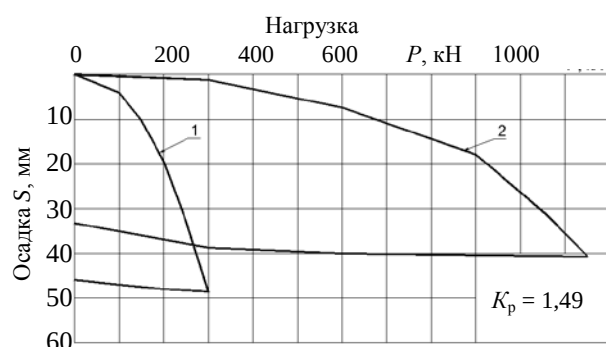


Рис. 4. Результаты испытаний фрагмента № 3:
1 – свая № 375; 2 – фрагмент из двух свай с ростверком

По результатам испытаний одиночных свай и фрагментов с несущими ростверками можно определить коэффициенты влияния ростверков K_p на несущую способность фундаментов с разными соотношениями модулей деформации грунта в основании свай E_c и ростверков E_p (табл. 1).

Таблица 1

Параметры фрагментов свайно-плитных фундаментов в песчаных грунтах

Номер фрагмента	Длина свай, м	Предельная осадка, мм	Несущая способность, кН		E_c/E_p	K_p
			свай	фундамента		
1	4,35	5,0	411,6	2000	1,00	1,62
2	3,50	6,0	453,9	2000	1,00	1,47
3	3,65	12,1	627,3	2000	0,18	1,06
4	4,70	6,0	478,0	2000	0,50	1,39

Исследуемые фрагменты имеют сходные геометрические параметры. Основным отличием являются инженерно-геологические условия площадки. Ростверк и сваи фундамента № 1 расположены в однородном слое гравелистого песка средней прочности с модулем деформации $E = 22$ МПа. Несущая способность за счет

включения в работу ростверка увеличилась на 62 %. Низ ростверка и сваи фундамента № 2 также расположен в слое гравелистого песка, однако под ростверком на глубине 1,2 м имеется прослойка малопрочного песка (ИГЭ-5) с модулем деформации $E = 4,0$ МПа толщиной 0,7 м. С наличием этой прослойки связаны увеличение осадки фундамента до 6,00 мм и снижение коэффициента влияния ростверка до 1,47. В основании свай фундамента № 3 залегают пески средней прочности (ИГЭ-7), а под ростверком – слабые грунты: ИГЭ-2,5 с модулем деформации $E = 4$ МПа и ИГЭ-6 с $E = 10$ МПа. В данном случае ростверк практически не включился в работу фундамента. Осадка данного фундамента более чем в два раза превышает осадку соседних. Нижние концы свай фундамента № 4 расположены на границе слоев ИГЭ-6 и ИГЭ-7 песков малопрочных и средней прочности. Ростверк опирается на слой малопрочного песка ИГЭ-6. Отношение модулей деформации грунта под сваями и ростверком $E_c/E_p = 0,5$.

Проведенные исследования подтверждают вывод, что одним из главных факторов, влияющих на долю работы ростверка, являются инженерно-геологические условия площадки. В данном случае значение K_p варьировалось в диапазоне от 1,06 до 1,62 в результате изменения грунтовых условий основания.

Внедрение свайно-плитных фундаментов. Результаты испытаний фрагментов свайно-плитных фундаментов на ряде строительных площадок в г. Минске [9] показали их высокую эффективность. Прочностные характеристики насыпного грунта значительно улучшаются за счет уплотнения. Наклон боковой поверхности исключает развитие отрицательных сил трения. Уплотненное основание становится несущим слоем как для свай, так и для фундаментной плиты.

По данным изысканий, на площадке строительства православного храма во имя Архистратига Божия Михаила в микрорайоне Сухарево в Минске (рис. 5) под подошвой ростверка залегают следующие грунты:

1) супеси пылеватые средней прочности ($E = 18$ МПа; $h = 4,0$ м);

2) суглинки озерные мягкопластичные ($E = 6$ МПа; $h = 2,0$ м);

3) суглинки с растительными остатками ($E = 10$ МПа; $h = 1,5$ м);

4) заторфованные грунты и торф ($E = 3$ МПа; $h = 2,5$ м);

5) пески средней прочности и прочные ($E = 25$ МПа).



Рис. 5. Главный фасад храма
во имя Архистратига Божия Михаила
в микрорайоне Сухарево в г. Минске

Первоначально был выполнен проект фундамента, состоящего из 480 забивных свай длинами 12 и 14 м и диаметрами 0,30 и 0,35 м. Сваи пронизывали слои заторфованных грунтов и погружались в несущий песчаный слой.

Анализ инженерно-геологических условий строительной площадки выявил неэффективность фундамента из длинных забивных свай. При забивке свай атмосферный воздух попадает в слои торфа, что приводит к интенсивному разложению органических веществ, усадке грунта и развитию сил отрицательного трения. Наиболее рациональным решением в данном случае является передача всей нагрузки от здания на верхние, относительно прочные слои основания. Расчет фундаментов в соответствии с [2] показал, что в данных грунтовых условиях фундаментная плита способна воспринимать около 40 % нагрузки от здания. Остальную часть нагрузки воспринимают конические выштампованные сваи длиной 3,0 м и диаметрами от 0,5 м в верхнем до 0,3 м в нижнем концах. Схема расположения конических свай в составе ростверка приведена на рис. 6. Общее число

конических свай составило 285 (длина 3 м) и забивных (погруженных ранее) – 32 (длина 12–14 м).

Стоимость (в ценах 1991 г.) первого варианта фундамента из длинных забивных свай составила 372,186 тыс. руб. (315,508 – свайное поле и котлован; 56,678 – ростверк), второго, из коротких конических свай – 200,756 тыс. руб. (147,01 – свайное поле и котлован; 53,746 – ростверк), экономический эффект внедрения работки – 171,43 тыс. руб. Стоимость фундаментов снижена почти в два раза.

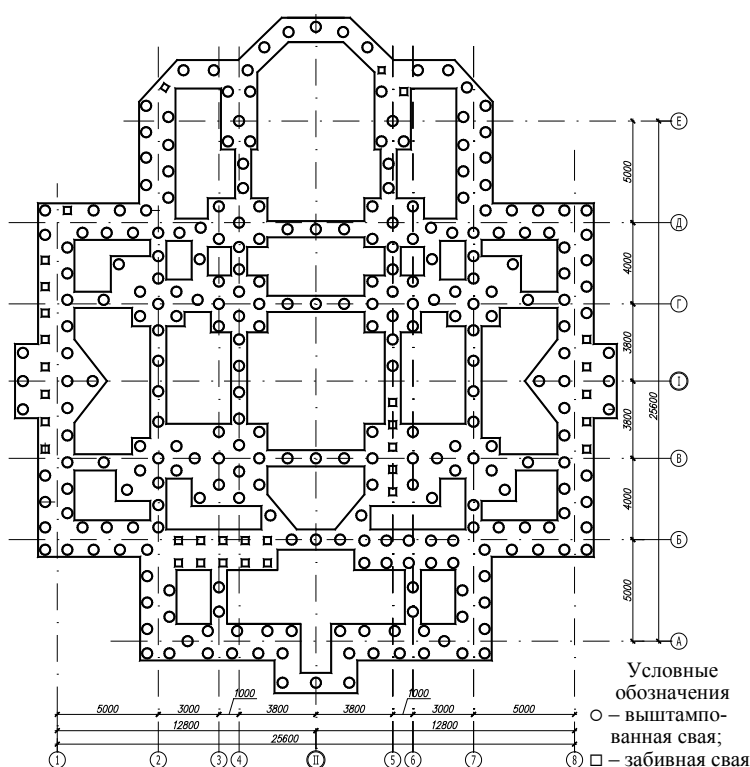


Рис. 6. Свайно-плитный фундамент под храм
во имя Архистратига Божия Михаила

Проведенные впоследствии испытания фрагментов фундаментов статической нагрузкой подтвердили результаты выполненных расчетов [10].

ВЫВОДЫ

1. Данные натурных испытаний подтвердили высокую эффективность включения фундаментной плиты в работу свайного фундамента, состоящего из забивных, набивных и выштампованных свай в песчаных и глинистых грун-

тах. Несущая способность фундамента возрастала на 6–103 % в зависимости от грунтовых условий, геометрических параметров фундамента и величины его осадки. Наиболее важными факторами, влияющими на долю сопротивления ростверка, являются деформационные характеристики основания под его подошвой и площадь опирания ростверка на грунт.

2. Экспериментально установлено, что наибольшего экономического эффекта можно достичь в случае применения свайно-плитных фундаментов, состоящих из коротких призматических и пирамидальных забивных и выштампованных свай уплотнения. Наклонные боковые поверхности свай способствуют максимальному уплотнению грунта в межсвайном пространстве. Фундаментная плита, опирающаяся на такое основание, имеет большее сопротивление, чем в фундаменте из свай с постоянным поперечным сечением. Результаты испытаний доказали эффективность этих фундаментов при мощной толще насыпного грунта у поверхности. Прочностные характеристики насыпного грунта значительно улучшаются за счет уплотнения. Наклон боковых поверхностей исключает развитие отрицательных сил трения и возникновение зазоров между боковыми поверхностями и грунтом в верхней части основания. Уплотненное основание становится несущим слоем как для свай, так и для фундаментной плиты.

3. Внедрение свайно-плитных фундаментов на ряде возведенных объектов позволило уменьшить стоимость нулевого цикла до 30–50 % по сравнению с традиционными конструктивными решениями и методами расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Далматов, Б. И. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов / Б. И. Далматов, Ф. К. Лапшин, Ю. В. Россихин. – Л.: Стройиздат, 1975. – 240 с.
2. Экспериментальные исследования формирования объема зоны деформации в основании фундаментов из пирамидальных свай / В. Н. Голубков [и др.] // Основания и фундаменты: республ. межвед. науч.-техн. сб. – Киев: Будівельник, 1976. – Вып. 9. – С. 25–30.
3. Юдин, В. А. Послойные деформации грунтов в основании свайных кустов и лент из коротких пирамидальных свай / В. А. Юдин // Основания и фундаменты: республ. межвед. науч.-техн. сб. – Киев: Будівельник, 1988. – Вып. 21. – С. 102–103.
4. Бартоломей, А. А. Прогноз осадок свайных фундаментов / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков. – М.: Стройиздат, 1994. – 384 с.
5. Sernov, V. A. The Increase of Bearing Capacity of Pile Foundations Taking into Account Soil-Raft Interaction /

V. A. Sernov // Modern Building Materials, Structures and Techniques: the 10th International Conference. – Lithuania, 2010. – P. 1153–1160.

6. Кондрашов, В. А. Исследование деформаций грунта основания моделей свайных фундаментов методом фотофиксации траектории движения грунтовых частиц / В. А. Кондрашов // Основания, фундаменты и подземные сооружения: труды пятой конф. молодых науч. сотрудников, Москва, 9–10 июня 1970 г. – М., 1970. – С. 239–246.

7. Козачок, Л. Д. Исследование распределения вертикальных напряжений в основании кустов висячих свай с низким ростверком: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Л. Д. Козачок. – Л., 1979. – 174 с.

8. Бахолдин, Б. В. Плитно-свайные фундаменты / Б. В. Бахолдин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2003. – № 5. – С. 24–27.

9. Сернов, В. А. Эффективные конструкции свайных фундаментов с несущими ростверками / В. А. Сернов // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. науч. тр. XVI Междунар. науч.-метод. семинара, Брест, 28–30 июня 2009 г.: в 2 ч. / БрГТУ; редкол.: А. А. Борисевич [и др.]. – Брест, 2009. – Ч. II. – С. 174–178.

10. Рекомендации по расчету свайных фундаментов с несущими ростверками: Р5.01.015.05. – Минск: БНТУ, 2005. – 24 с.

REFERENCES

1. Dalmatov, B. I., Lapshin, F. K., & Rossikhin, Yu. V. (1975) Designing of Piled Foundations Under Conditions of Weak Soil. Leningrad, Stroyizdat. 240 p. (in Russian).
2. Golubkov, V. N., Tugaenko, Iu. F., Marchenko, V. S., & Sukhodoiev, Iu. F. (1976) Experimental Investigations on Formation of Deformation Zone Extent in the Base of Pyramidal Piled Foundations. *Osnovaniia i Fundamenty. Respubl. Mezhved. Nauch.-Tekhn. sb.* [Foundation Engineering. Republican Interagency Scientific and Technical Collected Book]. Kiev: Budivelnik [Construction Worker], 9, 25–30 (in Russian).
3. Yudin, V. A. (1988) Soil Layer Deformation in the Base of Pile Groups and Short Pyramidal Pile Belts. *Osnovaniia i Fundamenty. Respubl. Mezhved. Nauch.-Tekhn. Sb.* [Foundation Engineering. Republican Interagency Scientific and Technical Collected Book]. Kiev: Budivelnik [Construction Worker], 21, 102–103 (in Russian).
4. Bartolomey, A. A., Omelchak, I. M., & Yushkov, B. S. (1994) *Forecasting of Piled Foundation Settlement*. Moscow, Stroyizdat. 384 p. (in Russian).
5. Sernov, V. A. (2010) The Increase of Bearing Capacity of Pile Foundations Taking into Account Soil-Raft Interaction. *10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques*. Lithuania, Vilnius, 1153–1160.
6. Kondrashov, V. A. (1979) Investigations on Soil Deformation in Model Base of Piled Foundations While Using Method for Trajectory Photofixation of Soil Particle Motion. *Osnovaniia, Fundamenty i Podzemnye Sooruzheniia: Trudy Piatoi Konf. Molodykh Nauch. Sotrudnikov, Moskva, 9–10 Iiunia 1970 g.* [Bases, Foundations and Underground Constructions: Proceedings of the 5th Conference of Young Researchers, Moscow, June 9–10, 1970]. Moscow, 239–246.
7. Kozachok, L. D. (1979) *Issledovanie Raspredeleniia Vertikal'nykh Napriazhenii v Osnovanii Kustov Visiachikh Svai s Nizkim Rostverkom. Dis. Kand. Tekhn. Nauk* [Investigations on Distribution of Vertical Stresses in the Base of Hanging Pile Groups with Low Grating. Ph. D. Thesis in Engineering Science]. Leningrad. 174 p. (in Russian).

8. **Bakholdin, B. V.** (2003) Piled-Raft Foundations. *Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov* [Bases, Foundations and Soil Mechanics], 5, 24–27 (in Russian).

9. **Sernov, V. A.** (2009) Efficient Designs of Piled Foundations with Bearing Rafts. *Perspektivy Razvitiia Novykh Tekhnologii v Stroitel'stve i Podgotovke Inzhenernykh Kadrov Respubliki Belarus'*. Sb. Nauch. tr. XVI Mezhdunar. Nauch. Metodich. Seminara. Ch. II [Prospects for Development of New Technologies in Construction and Training Engineering

Personnel in the Republic of Belarus. Collection of Research Papers of the XVIth International Scientific and Methodical Seminar. Part. II. Brest: Brest State Technical University, 174–178 (in Russian).

10. **P5.01.015.05.** *Recommendations on Calculation of Piled Foundations with Bearing Rafts*. Minsk: BNTU [Belarusian National Technical University], 2005. 24 p. (in Russian).

Поступила 28.01.2015

УДК 624.05

МОБИЛЬНЫЕ РАСТВОРОБЕТОННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Докт. техн. наук, проф. **ЛЕОНОВИЧ С. Н.¹⁾**, асп. **ОЛЬГОМЕЦ А. И.¹⁾**,
инж. **ГУРИНОВИЧ В. Ю.¹⁾**, асп. **КАРПОВИЧ С. Л.²⁾**

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

²⁾ООО «Випротех»

E-mail: sleonovich@mail.ru

В статье рассмотрены основные преимущества и недостатки мобильных растворобетонных установок в сравнении со стационарными бетоносмесительными узлами. Основной смысл мобильности заключается в возможности быстрого передвижения. Это, в свою очередь, накладывает некоторые ограничения на весогабаритные характеристики бетоносмесительного оборудования. Однако применительно к бетоносмесительному оборудованию и стройке в целом понятие мобильности рассматривается в виде трех составляющих: минимальные затраты на подготовку площадки под монтаж растворобетонной установки, удобство транспортировки, сокращение сроков монтажа и пусконаладки оборудования. Для этого технологическая цепочка по выпуску бетонных и растворных смесей делится на отдельные законченные операции. Далее проектируются модули, которые выполняют данные операции. Каждый модуль проектируется по размеру морского контейнера – для удобства транспортировки. Предусматриваются разъемные соединения на месте стыковки модулей, для электропроводки и трубопроводов подачи воды и химических добавок, а также пневматики. Эти соединения в последующем позволяют сократить время монтажа и демонтажа оборудования на объекте.

Представлен мобильный растворобетонный узел блочно-модульной компоновки, разработанной в БНТУ в рамках Государственной научно-технической программы, изготовленный на производственных мощностях ООО «Випротех» и успешно внедренный в производство. Одно из перспективных направлений – использование мобильных растворобетонных установок, размещаемых и эксплуатируемых непосредственно на объектах строительства. Их экономическая эффективность растет с увеличением расстояния до ближайшего стационарного растворобетонного узла, а также объемов бетонирования. Мобильные растворобетонные установки ориентированы главным образом на строительные организации, возводящие объекты вдали от городской инфраструктуры и транспортных сетей: мосты, дамбы, магистрали, транспортные развязки. При сохранении тех же объемов производства бетона такие установки находятся в непосредственной близости от строительного объекта и с помощью специальных бетононасосов могут подавать нужные растворы прямо на объект.

Ключевые слова: бетон, бетоносмесительный модуль, бетоносмесительная установка, мобильность, растворобетонный узел, склад цемента, силос.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 10 назв.

MOBILE MORTAR CONCRETE PLANTS FOR BUILDING COMPLEX OF BELARUS: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

LEONOVICH S. N.¹⁾, OLGOMETS A. I.¹⁾, GURINOVICH V. Yu.¹⁾, KARPOVICH S. L.²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University,

²⁾JSC "Viprotekh"

The paper considers main advantages and disadvantages of mobile mortar concrete plants in comparison with stationary concrete mixing units. The main idea of the mobility is to provide quick movement. In its turn, this approach imposes

some restrictions on dimensions and weights of concrete mixing equipment. However in the context of the concrete mixing equipment and construction site as whole the mobility concept is considered in the form of three components: minimum expenses on site preparation for assembly of a mortar concrete plant, transportability, reduction in installation and start-and-adjustment periods. In this regard processing chain for production of concrete and mortar mixes is divided in separate complete operations. Then it is necessary to develop modules which are performing the required operations. Every module is developed in accordance with the size of a shipping container in order to make transportation convenient. Detachable connections are stipulated in the place of module linkages, electrical wiring, pipelines for supply water and chemical admixtures, pneumatics. Henceforth, these connections make it possible to reduce time for on-site assembly and disassembly of the equipment.

The paper presents a mobile mortar concrete unit of block-module arrangement which has been developed within the framework of the State Scientific Research Programme at the BNTU. The unit has been manufactured using production capacities of JSC "Viprotekh" and it has been successfully introduced in production process. One of the promising directions is to use the mobile mortar concrete plants which are located and which are operating directly on construction sites. Their economic efficiency becomes higher with an increase of distance to the nearest stationary mortar concrete unit and scope of concreting works. Mobile mortar concrete plants are mainly intended for construction organizations which are realizing construction projects away from urban infrastructure and transportation networks: bridges, dams, highways, transport junctions. While ensuring the same production output of concrete these plants are located in close proximity to the construction site and the required mortars can be supplied directly to the site with the help of special concrete pumps.

Keywords: concrete, concrete mixing module, concrete mixing plant, mobility, mortar concrete unit, cement storage, tower silo.

Fig. 2. Tab. 1. Ref.: 10 titles.

Введение. В настоящее время объекты активно возводятся в городе и за пределами городской застройки. Когда происходит частая смена площадки или размещение в стесненных условиях, необходим оперативный запуск. В данном случае лучшим решением будет использование мобильных растворобетонных установок. Это подтверждается увеличением спроса на мобильные растворобетонные установки (МРБУ). Одно из перспективных направлений – использование МРБУ, устанавливаемых и эксплуатируемых непосредственно на объектах строительства. Их экономическая эффективность растет с увеличением расстояния до ближайшего стационарного растворобетонного узла, а также объемов бетонирования [1].

МРБУ ориентирована главным образом на строительные организации, возводящие строительные объекты вдали от городской инфраструктуры и транспортных сетей: мосты, дамбы, магистрали, транспортные развязки. При сохранении тех же объемов производства бетона МРБУ находятся в непосредственной близости от строительного объекта и с помощью специальных бетононасосов могут подавать нужные растворы прямо на объект.

Преимущества мобильных растворобетонных установок. Особенность МРБУ заключается в довольно коротком времени монтажа и перемещения. Они легко перемещаются с помощью одного или двух тягачей и имеют

возможность свободно разместиться на довольно небольшом участке земли. Работы по сборке-разборке (с привлечением на некоторые работы подъемного крана) всего оборудования осуществляются в одну рабочую смену, затем следует транспортировка бетонного смесительного узла одним тягачом [2, 3].

Однако понятие мобильности растворобетонной установки в условиях современной экономики нельзя ограничивать только ее скоростью монтажа и перемещения. Пользователи МРБУ уделяют особое внимание только самой конструкции бетонного завода, а именно: наименьшим габаритным размерам, компактности при транспортировании и простоте монтажа оборудования, но не учитывают скрытые затраты при перебазировании мобильной установки.

Мобильность любой растворобетонной установки определяется тремя факторами: минимальными затратами на подготовку места ее расположения, минимальными затратами на ее транспортировку и малым временем развертывания и ввода в эксплуатацию. Конструкция МРБУ не обязательно должна включать колесное шасси. РБУ может состоять из блоков габаритными размерами 2,4×2,4 м и длиной не более 12,0 м (размер стандартного морского контейнера). Доставка бетоносмесительной установки к месту монтажа и последующее перебазирование, как самый простой метод пере-

возки, могут осуществляться с помощью пространственных полуприцепов – еврофур.

При таком способе перевозки МРБУ не требуются разрешения и специальные документы, оформляется только товарно-транспортная накладная на габаритный груз. Максимальная масса наибольшего из сборочных блоков не превышает 12 т, исходя из состояния дорог и некоторых участков и мостов. Транспортирование блоков МРБУ можно осуществлять как на открытых полуприцепах, так и на затентованных. Совокупность вышеизложенных конструктивных особенностей приводит к снижению транспортных расходов.

Преимуществами МРБУ являются малые, по сравнению со стационарными, габариты и масса, что положительно сказывается на цене мобильных заводов, так как снижаются затраты на их производство. Малые габариты и масса дают возможность организовать производство смеси на ограниченной территории [4, 5]. Это, например, строительство жилищных микрорайонов и объектов промышленного назначения на небольших площадях и территориях. Размещение стационарного бетонного завода в подобных местах не представляется возможным в силу ограниченной площади и существенной стоимости данного оборудования.

Стоимость компонентов бетонной смеси гораздо ниже стоимости готового бетона. Все это в совокупности приводит к очередному преимуществу – снижению стоимости готового бетона для конечного потребителя. Размещение завода в непосредственной близости от объекта строительства исключает возможность снижения качества бетонной смеси вследствие ее неправильной транспортировки.

В качестве фундамента для мобильного завода могут использоваться ровная забетонированная или асфальтированная площадка; плиты пустотного настила, уложенные на грунтовую выровненную площадку. Преимуществами при размещении мобильных бетонных заводов являются отсутствие фундамента, проектных работ, согласования и работ по его возведению [6]. Немаловажным достоинством мобильных заводов является отсутствие пандуса. Для перевозки МРБУ проектируют высотой не более 2,5 м (ограничены размером морского контейнера), что позволяет любому погрузчику производить загрузку инертных материалов

напрямую, без необходимости насыпать подъездной пандус.

Монтаж МРБУ осуществляется непосредственно с колес. Машины заезжают на площадку в той последовательности, в которой производится монтаж РБУ. Таким образом, время монтажа сводится к минимуму при рациональном использовании строительной площадки. Для проведения всех монтажно-сборочных работ используется один грузоподъемный механизм – автокран грузоподъемностью не более 25 т. Монтаж МРБУ производится с одного положения автокрана. При сборке мобильных бетонных заводов не используется сварка, все блоки и узлы крепятся на разъемных болтовых соединениях, что приводит к снижению затрат на монтажные и пусконаладочные работы.

Резюмируя, к несомненным преимуществам мобильных бетонных заводов можно отнести их реальную компактность, удобство в установке и транспортировке, быстроту в развертывании бетонного производства, возможность использования в отдаленных местностях.

Недостатки мобильных растворобетонных установок. МРБУ имеют ряд недостатков. Это, в первую очередь, их низкая производительность, что вызвано ограниченными размерами МРБУ, не позволяющими разместить необходимое количество дозаторов компонентов бетонной смеси для применения параллельной схемы дозирования, при которой все компоненты дозируются одновременно. В МРБУ смеситель чаще всего установлен на тензометрические датчики и играет роль дозатора инертных материалов, что соответствует последовательной схеме дозирования компонентов, при которой увеличивается время цикла, а следовательно, падает производительность. Малые габариты также не позволяют разместить значительные расходные бункеры компонентов бетонной смеси. Этот недостаток влечет за собой необходимость частых загрузок расходных материалов.

МРБУ – это высокотехнологичные устройства, с множеством сложных новаторских решений. Последнее обстоятельство приводит к тому, что подобное оборудование оказывается неремонтопригодным в полевых условиях. И еще один немаловажный недостаток МРБУ – ограниченная по площади операторская.

Не всегда вышеперечисленные характеристики следует относить к недостаткам. К при-

меру, крупная строительная организация при возведении многоэтажных объектов не будет полагаться лишь на производительность МРБУ. Небольшие и средние компании, занятые в сфере малоэтажного строительства, обычно удовлетворены производительностью этих установок. Поэтому невысокую производительность оборудования можно рассматривать не в качестве недостатка, а как конструкционную особенность.

Недостаток, связанный с низкой ремонтно-пригодностью некоторых узлов, можно компенсировать выбором МРБУ от ответственных производителей с хорошей репутацией. В этом случае эксплуатационный ресурс приобретенного оборудования будет более продолжительным и необходимость что-либо ремонтировать в полевых условиях отпадет сама собой.

Мобильный растворобетонный узел блочно-модульной компоновки. Данный мобильный растворобетонный комплекс (МРБК) был разработан, изготовлен и испытан в рамках выполнения научных исследований и разработок научно-технической программы [7]. Проведены контрольные испытания на соответствие рассчитанным при разработке техническим параметрам (производительность, потребляемая мощность). Фактическая производительность МРБК 35 м³/ч, установленная мощность оборудования, потребляющего электроэнергию, 40 кВт.

Общий вид МРБК блочно-модульной компоновки представлен на рис. 1. Он состоит из двух основных модулей: бетоносмесительного и хранения цемента. Оба модуля являются отдельными конструктивно и функционально законченными блоками, могут быть использованы по отдельности либо дополнены другими модулями, например модулем подачи бетонной смеси и (или) модулем для растарки «Биг-Бэгов».

Бетоносмесительный модуль (рис. 1) включает в себя: бетоносмеситель на весоизмерительной платформе (выполняет роль дозатора инертных материалов) [8], склад инертных материалов в виде двух бункеров объемом по 6,5 м³, конвейерную подачу инертных материалов, систему хранения и подачи воды и химических добавок, систему воздухообеспечения и помещение операторской. Модуль хранения цемента (рис. 1) [9] состоит из: собственно емкости силоса на 32 т, обвязки силоса (лестница, верхнее ограждение, труба задувки), фильтра цементной пыли, затвора, шнекового питателя и опоры силоса с бесфундаментной системой установки.

Сравнение основных технико-экономических показателей разработанного и внедренного мобильного растворобетонного узла блочно-модульной компоновки в сравнении с ближайшими аналогами отечественного и зарубежного образца приведено в табл. 1 [10]. Стоимость указана по состоянию на 01.12.2012.

Таблица 1

Технико-экономические показатели мобильных растворобетонных узлов

Параметр	МРБУ блочно-модульной компоновки	Комплекс мобильный агрегатированный «МАК-БЕТОН» СМБ-004ЕК, РБ	Мобильная бетоно- смесительная установка FIBO INTERCON F2200, Дания
Производительность, м ³ /ч	35	32	30
Тип смесителя	Тарельчатый, одновальный	Тарельчатый, одновальный	Тарельчатый, одновальный
Объем по загрузке, л	750	750	2200
Объем по выходу готовой смеси, л	500	570	1500
Бункеры для заполнителей инертных материалов, м ³	2×6,5	2×7,0	2×4,8
Бункеры для цемента, м ³	26	19	24
Объем емкости для воды и химдобавок, м ³	1,0	10,0	0,5
Габаритные размеры, м (Д×Ш×В)	12×2,5×2,6	17,6×4,5×12,7	9×2,58×2,65
Транспортная масса БСУ, кг	11500	23500	10500
Общее энергопотребле- ние, кВт	40	50	70
Стоимость, тыс. руб.	950	1500	2700 (полный комплект)

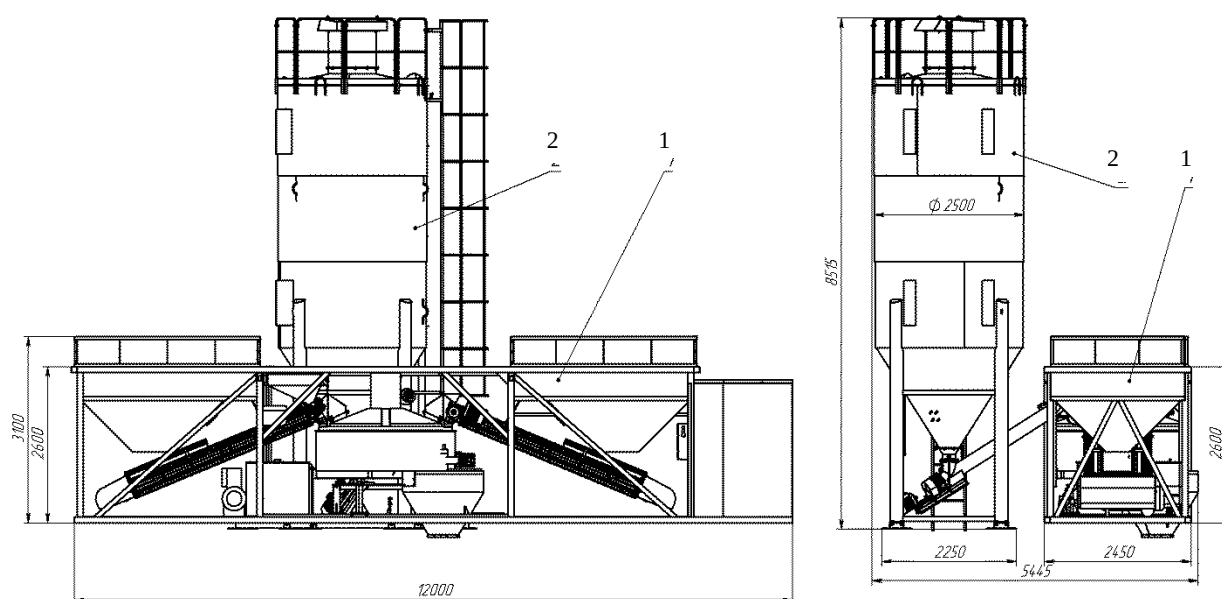


Рис. 1. Общий вид МРБК в разрезе:
1 – бетономесительный модуль; 2 – модуль хранения цемента

Опытный образец растворобетонного комплекса блочно-модульной компоновки мобиль-

ной модификации был внедрен на производственной базе ООО «Бетон-СВ» (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид опытного образца МРБК:
1 – бетономесительный модуль; 2 – модуль хранения цемента

ВЫВОДЫ

1. К преимуществам мобильных растворо-бетонных узлов относятся: малые габариты и масса, скорость транспортировки и монтажа, малое время ввода в эксплуатацию и начала производства бетонных смесей.

2. К недостаткам следует отнести: низкую производительность, малую емкость расходных бункеров, низкую ремонтпригодность.

3. Область рационального применения – малые и средние организации, занятые в сфере малоэтажного строительства, компании, возводящие объекты, находящиеся на значительном удалении от стационарных бетонных производств.

4. Разработанный и внедренный узел, обладая техническими показателями, сравнимыми с характеристиками отечественных и зарубежных аналогов, имеет меньшую стоимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Леонович, С. Н.** Основные аспекты экономической эффективности мобильных растворобетонных установок / С. Н. Леонович, С. Л. Карпович // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. трудов XVII Междунар. науч.-метод. семинара. – Гродно: Гродненский государственный университет, 2010. – Т. 1. – С. 325–330.
2. **Баженов, Ю. М.** Проектирование предприятий по производству строительных материалов и изделий / Ю. М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 472 с.
3. **Оборудование** для переработки сыпучих материалов / В. Я. Борщев [и др.]. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 208 с.
4. **Стаценко, А. С.** Технология бетонных работ / А. С. Стаценко. – 2-е изд., испр. – Минск: Вышэйш. шк., 2006. – 239 с.
5. **Афанасьев, А. А.** Бетонные работы / А. А. Афанасьев. – М.: Высш. шк., 1991. – С. 31, 56–60.
6. **Леонович, С. Н.** Способы снижения стоимости стационарных растворобетонных установок / С. Н. Леонович, С. Л. Карпович // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. трудов XVII Междунар. науч.-метод. семинара. – Гродно: Гродненский гос. ун-т, 2010. – Т. 1. – С. 330–333.
7. **Разработать** и внедрить отечественный энергоэффективный универсальный растворобетонный комплекс для заводов ЖБК и КПД блочно-модульной компоновки: отчет о НИР (заключ.) / БНТУ; рук. темы С. Н. Леонович. – Минск, 2012. – 104 с. – № ГР 20114849.
8. **Бетоносмесительная** установка: пат. № U 3333 Респ. Беларусь: МПК: B28C 5/38 / Л. П. Синицын, Н. Т. Минченя, Н. А. Липкин, С. Л. Карпович; дата публ.: 28.02.07.

9. **Гуринович, В. Ю.** Перспективы приобъектного приготовления бетонных смесей с использованием мобильных растворобетонных комплексов / В. Ю. Гуринович, А. И. Ольгомец // Главный инженер в строительстве. – 2013. – № 1. – С. 22–28.

10. **Гуринович, В. Ю.** Основные модификации растворобетонных узлов блочно-модульной компоновки / В. Ю. Гуринович, А. И. Ольгомец // Главный инженер в строительстве. – 2013. – № 10. – С. 18–22.

REFERENCES

1. **Leonovich, S. N., & Karpovich, S. L.** (2010) Main Aspects of Economic Efficiency of Mobile Mortar Concrete Plants. *Perspektivy Razvitiia Novykh Tekhnologii v Stroitel'stve i Podgotovke Inzhenernykh Kadrov. Sbornik Trudov XVII Mezhdunarodnogo Nauchno-Metodicheskogo Seminara. T. 1* [Prospects for Development of New Technologies in Construction and Training of Engineering Personnel. Collection of Works of the XVII International Scientific-Methodical Seminar. – Vol. 1]. Grodno: Grodno State University, 325–330. (in Russian).
2. **Bazhenov, Yu. M.** (2005) *Designing of Enterprises for Production of Construction Materials and Items*. Moscow, ASV Publishing House. 472 p. (in Russian).
3. **Borshchev, V. Ia., Gusev, Iu. I., Promtov, M. A., & Timonin, A. S.** (2006) *Equipment for Processing of Loose Materials*. Moscow, Mashinostroenie-1. 208 p. (in Russian).
4. **Statsenko, A. S.** (2006) *Technology of Concrete Works*. 2nd Edition. Minsk, Vysheishaia Shkola. 239 p. (in Russian).
5. **Afanasiev, A. A.** (1991) *Concrete Works*. Moscow, Vysshaya Shkola, p. 31, 56–60 (in Russian).
6. **Leonovich, S. N., & Karpovich, S. L.** (2010) Methods for Cost Reduction of Stationary Mortar Concrete Plants. *Perspektivy Razvitiia Novykh Tekhnologii v Stroitel'stve i Podgotovke Inzhenernykh Kadrov. Sbornik Trudov XVII Mezhdunarodnogo Nauchno-Metodicheskogo Seminara. T. 1* [Prospects for Development of New Technologies in Construction and Training of Engineering Personnel. Collection of Works of the XVII International Scientific-Methodical Seminar. Vol. 1]. Grodno: Grodno State University, 330–333 (in Russian).
7. **Leonovich, S. N.** (2012) Develop and Introduce National Energy-Efficient Universal Mortar Concrete Complex for Concrete Structure and Concrete Panel Construction Plants of Block-Module Arrangement: R&D Report (Final). Minsk: BNTU. 104 p. No ГР 20114849. (In Russian, Unpublished).
8. **Sinitsyn, L. P., Minchenia, N. T., Lipkin, N. A., & Karpovich, S. L.** (2007) Concrete Mixing Plant. Patent Republic of Belarus No U 3333 (in Russian).
9. **Gurinovich, V. Yu., & Olgomets, A. I.** (2013) Prospects for Pre-Site Preparation of Concrete Mixes While Using Mobile Mortar Concrete Complexes. *Glavny Inzhener v Stroitel'stve* [Chief Engineer in Construction], 1, 22–28 (in Russian).
10. **Gurinovich, V. Yu., & Olgomets, A. I.** (2013) Main Modifications of Mortar Concrete Units of Block-Module Arrangement. *Glavny Inzhener v Stroitel'stve* [Chief Engineer in Construction], 10, 18–22 (in Russian).

Поступила 25.03.2013

БЕЗАВТОКЛАВНЫЙ СИЛИКАТНЫЙ КИРПИЧ

*Докт. хим. наук, проф. ЯГЛОВ В. Н.,
доктора техн. наук, профессора КОВАЛЕВ Я. Н., РОМАНИУК В. Н.,
канд. техн. наук, доц. БУРАК Г. А.*

Белорусский национальный технический университет

E-mail: kov-nata@mail.ru

Предложена технология получения кирпича на основе известково-кремнеземистых смесей, в которой химические взаимодействия практически полностью реализуются в дисперсном состоянии на стадии приготовления вяжущего контактного твердения и сырьевой смеси в целом, а роль операции формования (прессования) принципиально изменяется, так как при этом происходит перевод дисперсной системы в камневидное тело, что фиксируется его полной водостойкостью при контакте с водой сразу после прессования. Теоретической основой разработанной технологии является способность силикатных дисперсных веществ (гидросиликатов кальция) переходить в нестабильное состояние, образовывать камнеподобное водостойкое тело в момент приложения механической нагрузки при формовании. Особенность предлагаемого способа – исключение из процесса получения силикатного кирпича дополнительных операций автоклавирования изделий.

Синтетические гидросиликаты кальция в отличие от природных более однородны по составу и строению, содержат меньше примесей, характеризуются дисперсным составом и в связи с указанными преимуществами имеют более широкое практическое применение. Контактно-конденсационные вяжущие позволяют в широких пределах варьировать свойства продуктов на их основе и тем самым обеспечивать максимальное соответствие требованиям для конкретного направления использования. Сырьевые базы для получения синтетических силикатов гидросиликатов кальция практически не ограничены, поскольку кальцийкремнийсодержащие вещества присутствуют как в разнообразных техногенных отходах, так и в природных соединениях. Поэтому все более актуальной становится проблема получения гидросиликатов кальция, обладающих контактнo-конденсационной способностью к структурообразованию. Этот переход рассматривается как зависимый прежде всего от степени упорядочения расположения частиц вещества, которая и определяет уровень его нестабильности.

Ключевые слова: безавтоклавный силикатный кирпич, энергозатраты, известково-кремнеземистая смесь.

Табл. 3. Библиогр.: 18 назв.

NON-AUTOCLAVE SILICATE BRICK

YAGLOV V. N., KOVALEV Ya. N., ROMANIUK V. N., BURAK G. A.

Belarusian National Technical University

The paper proposes a technology for obtaining bricks on the basis of lime-silica mixtures where chemical interactions are practically completely realized in dispersive state at the stage of preparation of binding contact maturing and raw mixture as a whole. The role of forming operation (moulding) is changed in principle because in this case conversion of dispersive system into a rock-like solid occurs and due to this the solid obtains complete water-resistance in contact with water immediately after forming operation. Theoretical basis for the developed technology is capability of silicate dispersive substances (hydrated calcium silicate) to transit in non-stable state, to form a rock-like water-resistant solid in the moment of mechanical load application during forming process. Specific feature of the proposed method is an exclusion of additional operations for autoclaving of products from the process of obtaining a silicate brick.

Synthetic hydrated calcium silicate in contrast to natural ones are more uniform in composition and structure, they contain less impurities and they are characterized by dispersive composition and due to the mentioned advantages they find wider practical application. Contact-condensation binders permit to manipulate product properties on their basis and ensure maximum correspondence to the requirements of the concrete application. Raw material sources for obtaining synthetic hydrated calcium silicates are practically un-limited because calcium-silicon containing substances are found as in various technogenic wastes so in natural compounds as well. So the problem for obtaining hydrated calcium silicates having contact-condensation ability for structure formation becomes more and more actual one. This transition is considered as dependent principally on arrangement rate of substance particles which determined the level of its instability.

Keywords: non-autoclave silicate brick, energy consumption, lime-silica mixture.

Tab. 3. Ref.: 18 titles.

По существующей в настоящее время автоклавной технологии [1] для получения искусственного камня вначале готовят известково-песчаные смеси, в том числе осуществляют сухой помол извести с частью песка, выдерживают смеси в силосах, формуют изделия, а затем проводят их автоклавную обработку. Эта технология, как и любое химическое производство, предполагает качественное изменение исходных веществ за счет процессов химического взаимодействия в стесненных условиях отформованного изделия при автоклавировании.

В предложенной технологии получения кирпича на основе известково-кремнеземистых смесей [2–5] химические взаимодействия практически полностью реализуются в дисперсном состоянии на стадии приготовления вяжущего контактного твердения и сырьевой смеси в целом, а роль операции формования (прессования) принципиально изменяется, так как при этом происходит перевод дисперсной системы в камневидное тело, что фиксируется его полной водостойкостью при контакте с водой сразу после прессования. Этого, как известно, не происходит в традиционной технологии силикатного кирпича, когда прессованием достигается только придание формы, но не водостойкости изделию (последнее возможно лишь при создании условий, обеспечивающих протекание химических процессов с образованием вяжущего гидросиликатного состава). В принципиальной технологической схеме производства эффективного силикатного безавтоклавного кирпича наиболее ответственными технологическими переделами являются операции, обеспечивающие приготовление вяжущего, подготовку заполнителя и формование изделий. Не менее важны операции по подготовке «активных» заполнителей. При получении бетонов контактного твердения (такими, по существу, и являются смеси для эффективного силикатного кирпича) эти заполнители должны представлять собой либо вещества аморфной или нестабильной кристаллической структуры, либо кристаллические вещества, но покрытые слоями аморфизованных силикатов, что активизирует силы сцепления между заполнителем и вяжущим той же структуры.

При использовании заполнителя, представленного веществом стабильной кристалличе-

ской структуры (например, кварцевого песка), целесообразна его частичная «активизация» совместной гидратацией в дисперсном виде с вяжущим. Существует несколько технологических вариантов подготовки заполнителя. Так, один из них предопределяет выделение операций по подготовке заполнителя в отдельную технологическую цепочку, состоящую из помола кварцевого песка с частью извести и последующей тепловлажностной обработки, что обеспечивает образование на поверхности кварцевых зерен слоя слабо закристаллизованных гидросиликатов кальция. Согласно другому варианту производится совместный мокрый помол компонентов вяжущего, на заключительной стадии которого вводится заполнитель. Затем полученный шликер подвергается тепловлажностной обработке. Гидратные продукты взаимодействия извести с кремнеземистым компонентом представляют собой вяжущее контактного твердения, а непрореагировавший кремнеземистый компонент – заполнитель [5].

Технологические особенности стадии формования связаны, прежде всего, с обеспечением необходимых параметров прессования. Экспериментальные работы, проведенные в промышленных условиях, показали, что для уплотнения силикатных сырьевых смесей необходимо выполнение ряда специальных требований, обусловленных повышенной дисперсностью смесей, значительным воздухововлечением и низкой насыпной плотностью. Использование прессов различной конструкции позволило выявить рациональные режимы прессования [6].

Результаты испытаний (табл. 1–3) показали, что нагрузки уплотнения в исследуемом диапазоне давлений определяют прочность и среднюю плотность камня. При этом одностороннее действие давления не обеспечивает равномерности этих показателей по высоте изделия. На характер уплотнения существенное влияние оказывает насыпная плотность смеси. Так, на прессе «Крупп-интертехник» уплотняющая нагрузка определяется высотой засыпки матрицы. При прессовании «на ложок» максимально возможная высота засыпки – 237 мм, что обеспечивает в зависимости от гранулометрии смеси давление 8–22 МПа. При прессовании более тяжелых смесей для автоклавного кирпича это давление возрастает более чем вдвое. Получе-

ние качественного кирпича на прессах одностороннего действия связано с определенными трудностями. Изделия характеризуются значительной недопрессовкой с явно выраженными зонами, отражающими распределение давления по высоте. Избежать этого можно повышением удельного давления прессования. Однако эффективнее использовать прессы, обеспечивающие двустороннее многоступенчатое уплотнение (табл. 3).

Формование кирпича на прессе СМ-1085 позволяет варьировать значение удельного давления, водосодержание смеси и продолжительность цикла прессования (табл. 2, 3). Полученные зависимости показывают, что реальными давлениями можно считать 20 и 40 МПа, которые позволяют получить кирпич с пределом прочности на сжатие сразу после формования до 15,3 МПа и при пределе прочности при изгибе до 2,7 МПа.

Таблица 1

Физико-механические характеристики кирпича, полученного на прессе ПД-476 [6]

Номер состава	Соотношение компонентов при получении смеси, %	Формовочная влажность, %	Давление прессования, МПа	Средняя плотность, кг/м ³		Прочность, МПа, на сжатие/при изгибе после				
				после прессования	в сухом состоянии	прессования	4 ч кипячения	4 ч сушки	28 сут. хранения	
									на воздухе	в воде
1	Известь воздушная – 25; песок кварцевый – 75	18,0	20	1520	1320	4,8/0,3	5,4/0,5	7,6/0,8	9,3/1,1	6,7/0,5
			40	1660	1450	6,2/0,5	7,0/0,7	9,3/1,3	11,2/1,4	8,8/0,8
2	Известь воздушная – 25; опока – 40; песок кварцевый – 75	19,5	20	1220	1020	5,3/0,3	6,2/0,4	7,8/0,7	10,0/1,0	7,1/0,7
			40	1610	1350	8,4/0,4	8,8/0,4	13,1/0,8	15,5/1,7	12,0/0,8
			40*	1330	1150	7,6/0,3	8,2/0,4	11,6/0,8	13,6/1,4	10,2/0,8
3	Известь воздушная – 25; опока – 40; песок кварцевый – 75; асбест – 3	22,5	20	1480	1240	5,5/0,7	6,0/0,6	8,3/1,4	9,0/1,5	7,2/0,8
			40	1570	1320	8,7/1,5	9,0/1,0	13,7/1,8	14,8/2,0	9,2/1,3
			40*	1300	1110	7,6/1,1	8,2/0,9	11,8/1,7	14,0/2,0	8,7/0,9

* Кирпич восьмипустотный.

Таблица 2

Физико-механические характеристики кирпича, полученного на прессе «Крупн-интертехник» [6]

Номер состава (по табл. 1)	Формовочная влажность, %	Давление прессования, МПа	Средняя плотность, кг/м ³ , кирпича		Прочность, МПа, после прессования	
			уплотненного	неуплотненного	при изгибе	на сжатие
2	26,0	14	1300	980	0,2	2,1
2*	23,2	17	1380	1200	0,2	3,2
3	24,0	22	1340	1200	0,5	5,0
3*	22,5	20	1350	1120	0,4	4,8

Таблица 3

Физико-механические характеристики кирпича, полученного при давлении 4 МПа на прессе СМ-1085 [6]

Номер состава (по табл. 1)	Предел прочности, МПа, на сжатие/при изгибе после					Средняя плотность, кг/м ³ , в сухом состоянии
	прессования	4 ч кипячения	4 ч сушки	28 сут. хранения		
				на воздухе	в воде	
1	10,8/1,0	13,7/1,4	19,0/1,8	19,2/1,7	13,4/1,6	1450
2	9,5/0,9	12,0/1,1	15,2/1,4	14,0/1,8	10,8/1,3	1300
3	9,7/1,8	12,8/2,2	18,0/2,8	15,3/2,7	10,8/2,1	1350

Оптимальные значения влажности сырьевой смеси для получения максимальной прочности составляют 16–20 %, при этом использование смесей с меньшим содержанием влаги способствует заметному увеличению прочности при изгибе. Исследование влияния продолжительности цикла формования на прочность кирпича показывает, что максимальные значения прочности соответствуют длительности цикла формования в пределах 10 с. Это доказывает, что технические характеристики прессы СМ-1085 соответствуют требованиям, обеспечивающим получение эффективного безавтоклавного силикатного кирпича. В настоящее время существуют улучшенные модификации этого прессы, пригодные для рассматриваемой технологии [6].

Контактно-конденсационное твердение как явление перехода дисперсной системы в камнеподобное состояние характеризуется рядом особенностей, подчиняющихся общим закономерностям. Прежде всего, такое явление реализуется только в том случае, когда состояние структуры вещества характеризуется как нестабильное. Эта закономерность распространяется на силикатные вещества независимо от их природы и тех приемов, с помощью которых получено нестабильное состояние. По мере изменения состояния структуры силикатных веществ в направлении упорядочения (кристаллизации) закономерно уменьшается их контактно-конденсационная активность. Скорость развития процесса во времени для дисперсных гидратных систем зависит от плотности и химического состава вещества, прежде всего, его основности, которая определяет интенсивность процесса кристаллизации фаз. Результирующий количественный критерий конденсации – прочность образованного тела – зависит от числа единичных контактов, определяющегося степенью сближения макрочастиц. В отличие от гидратационно-конденсационного структурообразования прочность камня контактного твердения может достигать максимальных, теоретически свойственных данной системе значений непосредственно при сближении частиц. Например, дисперсный гидросиликат кальция способен формировать камень с прочностью на сжатие 360 МПа сразу после прессования при его полной водостойкости [7].

Для образования равнопрочного камня из безводных силикатов и их гидратов необходимо применять большие нагрузки уплотнения в связи с их более высокой плотностью по сравнению с гидратами, которым свойственна меньшая плотность за счет наличия в их составе цеолитной или кристаллизационной воды. Если дисперсная система представлена только гидратами нестабильной структуры, то конденсация макрочастиц в водостойкое тело происходит только за счет физического взаимодействия между ними, направленного на упорядочение структуры вещества. При наличии в дисперсной системе водных и безводных нестабильных фаз и воды возможен смешанный механизм структурообразования при сближении макрочастиц. Так, гидраты, не изменяя химического состава, образуют водостойкие точечные контакты, а частицы безводного вещества вначале формируют слабые точечные контакты, а по мере гидратации – фазовые контакты срастания, упрочняющие камень. Закономерным для контактно-конденсационных структур является их восстанавливаемость после разрушения при повторном сближении макрочастиц с возможным усилением структурных связей и контактов за счет увеличения воздействующей нагрузки. Это возможно до тех пор, пока вещество содержит достаточный для конденсации резерв фазы нестабильной структуры. Уровень воспроизводимости связывается с начальной степенью уплотнения: чем больше уплотняющая нагрузка, тем интенсивнее возрастает коэффициент водостойкости структур. При давлении до 200 МПа двух- и трехкратное восстановление после разрушения не приводит к потере контактно-конденсационных свойств. Контактно-конденсационное твердение происходит без воды затворения. Вода и аквакомплексы при введении их в систему облегчают текстурирование вещества под нагрузкой, выполняя технологические функции. Таким образом, механизм контактного твердения хотя бы по одному отличительному признаку не соответствует известным в технологии силикатов, в связи с чем вносит определенный вклад в развитие представлений о причинах возникновения структур твердения, уделяя особую роль в этом степени нестабильности физического состояния вещества [8].

С учетом значимости состояния структуры минерального вещества в процессах, обуславливающих его конденсацию в тела с различной жесткостью, связей, а также многозначности понятий о стабильности структуры силикатов целесообразно раскрыть эти понятия, пользуясь известными характеристиками.

В наиболее общей трактовке метастабильное состояние – относительно устойчивое состояние системы, из которого она может перейти в более устойчивое спонтанно или под действием внешних факторов [9]. Это состояние является возбужденным и может существовать длительное время, при переходе из него в стабильное состояние из системы выделяется энергия, например в виде электромагнитного излучения различной частоты. При этом мера метастабильности состояния характеризуется величиной $\tau = 1/A$, где A – полная вероятность перехода из данного состояния во все другие с меньшей энергией. Для предельного случая ($A = 0$) $\tau \rightarrow \infty$ – состояние является стабильным.

Стабильной считается наиболее устойчивая форма кристаллического соединения, т. е. имеющая самую низкую свободную энергию при данных температуре, давлении и других параметрах [10].

В термодинамике метастабильное состояние – состояние неустойчивого равновесия физической макроскопической системы в данных условиях. Известно, что в метастабильном состоянии при нормальных условиях находятся практически все высокотемпературные твердые растворы минералов клинкера, стекло, пресыщенный водный раствор, образующийся при гидратации цемента. Часто метастабильные фазы оказываются довольно устойчивыми в широком диапазоне температур и давлений. Принцип Больцмана связывает более низкую энтропию с более высокой степенью упорядоченности (стабильности): закон возрастания энтропии, по сути, есть закон возрастания неупорядоченности (метастабильности). Энтропия S связывается с числом состояний системы W соотношением $S = K_b \log W$ (где K_b – const Больцмана), из которого следует, что максимальная неупорядоченность системы пропорциональна максимальному числу ее состояний. Для систем, способных обмениваться с внешней средой энергией при заданной тем-

пературе, эта зависимость трансформируется в выражение

$$G = H - TS,$$

где G – свободная энергия; H – энтальпия; T – абсолютная температура, К.

Отметим, что как классическая термодинамика, так и термодинамическая теория устойчивости [11] используют интересующие нас понятия безотносительно к образованию водостойкого искусственного камня из дисперсного вещества нестабильной структуры. В физической геохимии известна трактовка [11], согласно которой метастабильной считается такая форма состояния вещества, которая сосуществует при одних и тех же условиях со стабильной, не переходя самопроизвольно в стабильную бесконечно долгое время. Если такая форма изменяется с заметной скоростью, то она называется нестабильной или лабильной.

Энергетические взаимоотношения между стабильной, метастабильной и нестабильной формами, по Г. Ф. Смиту [11], определяются уровнем их свободной энергии, характеризуемой энергетическим барьером (ступенька вблизи энергетического уровня γ -мета-стабильной формы), сообщение которой решетке обеспечит переход вещества в нестабильное β и стабильное α состояния. Если энергия не может быть введена в систему, то γ -форма остается в метастабильном состоянии. С точки зрения кристаллографии [12], метастабильное состояние характеризует неупорядоченные системы – вещества в конденсированном состоянии при отсутствии строгой упорядоченности в расположении их атомов и молекул. Кристаллические дефекты (Френкеля и Шотки) связываются с термическим равновесием или с процессом роста кристаллов и их деформацией.

С кристаллохимических позиций, по К. Мейеру [13], в общем плане структура соединения АВ считается стабильной, если анионы соприкасаются с катионом. В предельном случае анионы соприкасаются также и между собой. Если радиус анионов увеличивается, а катион остается постоянным, то структура данной координации становится нестабильной, так как в этом случае между собой соприкасаются только анионы. В геохимии А. Е. Ферсма-

ном [14] введено понятие о временно устойчивых, или мутабильных соединениях. Это понятие нельзя считать синонимом метастабильного и проводить полную аналогию между ними по следующей причине. Рассматривая типы минеральных превращений, автор выделил такой тип: когда одно минеральное тело образуется путем постепенного превращения из другого. Наблюдения показали, что кристаллическое тело может оставаться совершенно однородным, в то время как в нем идет сложный химический процесс извлечения части оксидов или элементов. В результате выяснилось, что существуют соединения неопределенного состава, которые были названы мутабильными. Автор отметил, что полная оптическая однородность этих соединений вполне ясно указывает на то, что речь идет о более крупных единицах, чем молекула, а кристаллическое строение делает вероятным предположение о том, что их следует отнести к кристаллическим частицам.

При характеристике основных черт мутабильных соединений отмечается, что в них химические реакции идут, не разрушая кристаллической решетки, сами соединения остаются однородными, а весь комплекс физико-химических свойств постепенно меняется. Не обладая определенной стехиометрической формулой при полной внутренней однородности, они не подчиняются закону рациональных отношений.

В химии вяжущих веществ на особую роль метастабильного состояния впервые обратил внимание Н. А. Мощанский [15]. По его мнению, все производство цементов можно охарактеризовать как приведение стабильных кристаллических систем к метастабильным, а частично к лабильным системам, способным реагировать с водой. Известно [16], как трудно достичь равновесия в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. Даже многие из природных гидратов, которые должны иметь стабильные поля системы, не воспроизводятся синтезом. Вместе с тем, легко и в большом разнообразии синтезируются полукристаллические и близкие к аморфным фазы, отнесенные Х. Ф. Тейлором [17] к метастабильным, медленно кристаллизующимся системам.

Фазовые переходы в гидратных системах протекают хотя и очень медленно, но в заметных, поддающихся фиксации пределах. В то же

время в метастабильных системах типа стекол и керамики они протекают еще медленнее и практически не фиксируются. Заметные изменения происходят только при подведении к этим системам энергии. Таким образом, в различных областях знаний нет абсолютно однозначной трактовки понятий о метастабильном и нестабильном состояниях вещества, хотя этими терминами исследователи пользуются достаточно широко. Нет четкого разграничения представления о нестабильности по вещественному составу и структуре. Наиболее единодушны мнения исследователей в характеристике таких состояний с энергетической точки зрения. Учитывая, что вещества метастабильной и нестабильной структур обладают контактно-конденсационными свойствами, возможно при рассмотрении интересующих вопросов конденсации употребление этих понятий как смысловых синонимов [17].

Образование водостойких структурных связей при конденсации макрочастиц силикатов нестабильной структуры возможно и без участия химических взаимодействий. Этот процесс следует рассматривать как проявление свободной поверхностной энергии, которая является функцией физического состояния вещества при конкретных температуре, давлении, объеме. Известно, что вещество в стабильном кристаллическом состоянии обладает наиболее плотной упаковкой атомов или молекул, занимает минимальный объем и характеризуется максимальной плотностью по сравнению с аналогами субмикрорекристаллической и особенно аморфной структур, для которых свойственны неплотная упаковка частиц, больший объем и меньшая плотность. Логично ожидать, что для силикатов, характеризующихся разным состоянием структуры – аморфным, субмикрорекристаллическим и стабильным кристаллическим, значение свободной поверхностной энергии различно с разной плотностью вещества в этих состояниях [18].

ВЫВОДЫ

1. Сократить энергозатраты на процесс получения силикатного кирпича можно активацией реакции взаимодействия кремнезема и

известки в присутствии воды. Это осуществляется путем:

- замены части кристаллического SiO_2 на аморфный (трепел, диатомит, опока);
- повышения удельной поверхности молотого кварцевого песка при использовании более энергонасыщенного помольного агрегата, чем трубная мельница;
- использования раздельного помола песка известки с последующим их смешением по существующей технологии;
- получения известково-кремнеземистого вяжущего с предварительной тепловлажностной обработкой смеси с получением низкоосновных гидросиликатов кальция;
- повышения щелочности среды, в которой протекает процесс синтеза гидросиликатов кальция;
- использования химических добавок — катализаторов реакций образования гидросиликатов кальция.

2. Полученное предлагаемыми способами известково-кремнеземистое вяжущее смешивается с грубомолотым песком, увлажняется до 12–16 % и подвергается прессованию под давлением 20–40 МПа. Полученный таким образом силикатный кирпич не требует автоклавной обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Боженков, П. И.** Технология автоклавных материалов / П. И. Боженков. — Л.: Стройиздат, 1978. — 368 с.
2. **Способ** приготовления полимерсиликатной смеси: а. с. 631492 СССР, МКИ² С 04 В 25/02 / В. Д. Глуховский, Т. М. Дидусенко, П. В. Кривенко, И. Ю. Письменная, В. А. Ракша, Р. Ф. Рунова, В. В. Чиркова, О. Г. Щукин; дата публ.: 05.11.78.
3. **Сырьевая** смесь для изготовления строительного кирпича: а. с. 587123 СССР, МКИ² С 04 В 15/08 / В. Д. Глуховский, Т. М. Дидусенко, П. В. Кривенко, В. А. Ракша, Р. Ф. Рунова, Т. В., Пляшечникова, В. В. Чиркова, Л. А. Шейнич; дата публ.: 05.01.1978.
4. **Способ** изготовления известково-силикатных изделий: а. с. 685645 СССР, МКИ² С 04 В 13/12 / В. Д. Глуховский, П. В. Кривенко, В. А. Ракша, Г. В. Рунова, Р. Ф. Рунова, З. В. Скурхинская, В. В. Чиркова; дата публ.: 15.09.79.
5. **Способ** изготовления известково-кремнеземистых изделий: а. с. 808449 СССР, МКИ³ С 04 В 15/06 / И. П. Вахутинский, В. Д. Глуховский, И. И. Дьяконов, Ю. П. Кравченко, В. Т. Кравчук, П. В. Кривенко, Р. Ф. Рунова; дата публ.: 28.02.81.

6. **Глуховский, В. Д.** Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения / В. Д. Глуховский, Р. Ф. Рунова, С. Е. Максун. — Киев: Вища шк., 1991. — С. 178–179.

7. **Способ** изготовления силикатных изделий: а. с. 767053 СССР, МКИ² С 04 В 13/12 / В. Д. Глуховский, П. В. Кривенко, В. Т. Кравчук, Р. Ф. Рунова; дата публ.: 30.09.80.

8. **Способ** изготовления автоклавных изделий: а. с. 706359 СССР, МКИ² С 04 В 15/06 / В. Д. Глуховский, П. В. Кривенко, Г. В. Рунова, Р. Ф. Рунова, З. В. Скурхинская, В. В. Чиркова; дата публ.: 30.12.79.

9. **Кравчук, В. Т.** Контактно-конденсационный способ производства силикатного кирпича / В. Т. Кравчук, Р. Ф. Рунова // Строительные материалы и конструкции. — 1982. — № 1. — С. 15.

10. **Физический** энциклопедический словарь. — М.: Сов. энцикл., 1983. — 412 с.

11. **Смит, Г. Ф.** Физическая геохимия / Г. Ф. Смит. — М.: Недра, 1958. — 474 с.

12. **Гленодорф, П.** Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / П. Гленодорф, И. Пригожин. — М.: Мир, 1973. — 280 с.

13. **Мейер, К.** Физико-химическая кристаллография / К. Мейер. — М.: Металлургия, 1972. — 480 с.

14. **Ферсман, А. Е.** По вопросу о генезисе минералов и их взаимных превращениях / А. Е. Ферсман // Избр. тр.: в 2 т. — М.: Изд-во АН СССР, 1952. — Т. 1. — С. 739–750.

15. **Мошанский, Н. А.** Представления о природе минеральных вяжущих на основе периодического закона Менделеева и учения о метастабильных состояниях / Н. А. Мошанский // Тр. Всесоюз. совещ. по химии цемента. — М., 1956. — С. 114–124.

16. **Гидросиликаты** кальция / В. В. Илюхин [и др.]. — М.: Наука, 1979. — 183 с.

17. **Тейлор, Х. Ф.** Гидросиликаты кальция / Х. Ф. Тейлор // Пятый Междунар. конгр. по химии цемента. — М.: Стройиздат, 1973. — С. 114–136.

18. **Способ** определения физического состояния и фазового состава силикатных веществ: а. с. 800839 СССР, МКИ³ G 01 N 25/02 / В. Д. Глуховский, В. В. Глуховский, А. В. Ивлева, Р. Ф. Рунова, Л. А. Чених; дата публ.: 30.01.81.

REFERENCES

1. **Bozhenov, P. I.** (1978) *Technology of Autoclave Materials*. Leningrad, Stroyizdat. 368 p. (in Russian).
2. **Glukhovsky, V. D.,** Didusenko, T. M., Krivenko, P. V., Pis'mennaia, L. Iu., Raksha, V. A., Runova, R. F., Chirkova V. V., & Shchukin, O. G. (1978) Method for Preparation of Polymer-Silicate Mixture. Author's Certificate USSR No 631492 (in Russian).
3. **Glukhovsky, V. D.,** Didusenko, T. M., Krivenko, P. V., Raksha, V. A., Runova, R. F., Pliashchnikova, T. V., Chirkova, V. V., & Sheinich, L. A. (1978) Raw Mixture for Construction Brick Fabrication. Author's Certificate USSR No 587123 (in Russian).

4. **Glukhovsky, V. D.**, Il'in, V. P., Krivenko, P. V., Raksha, V. A., Rumyna, G. V., Runova, R. F., Skurchinskaia, Zh. V., & Chirkova, V. V. (1979) Method for Fabrication of Lime and Silicate Products. Author's Certificate USSR No 685645 (in Russian).
5. **Vakhutinsky, I. P.**, Glukhovsky, V. D., Diakonov, I. I., Kravchenko, Iu. P., Kravchuk, V. T., Krivenko, P. V., & Runova, R. F. (1981) Method for Fabrication of Lime-Silica Products. Author's Certificate USSR No 808449 (in Russian).
6. **Glukhovsky, V. D.**, Runova, R. F., & Maksunov, S. E. (1991) *Binding and Composite Materials of Contact Maturing*. Kiev, Vishcha Shkola, 178–179 (in Russian).
7. **Glukhovsky, V. D.**, Krivenko, P. V., Kravchuk, V. T., & Runova, R. F. (1980) Method for Fabrication of Silicate Products. Author's Certificate USSR No 767053 (in Russian).
8. **Glukhovsky, V. D.**, Krivenko, P. V., Rumyna, G. V., Runova, R. F., Skurchinskaia, Zh. V., & Chirkova, V. V. (1979) Method for Fabrication of Autoclave Products. Author's Certificate USSR No 706359 (in Russian).
9. **Kravchuk, V. T.**, & Runova, R. F. (1982) Contact and Condensate Method for Fabrication of Silicate Brick. *Stroitelnye Materialy i Konstruktsii* [Construction Materials and Structures], 1, 15 (in Russian).
10. **Encyclopedic Dictionary of Physics**. Moscow, Soviet Encyclopedia, 1983. 412 p. (in Russian).
11. **Smith, G. F.** (1958) *Physical Geochemistry*. Moscow, Nedra. 474 p. (in Russian).
12. **Glenodorf, P.**, & Prigozhin, I. (1973) *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations*. Moscow, Mir. 280 p. (in Russian).
13. **Meyer, K.** (1972) *Physical-Chemical Crystallography*. Moscow, Metallurgiya. 480 p. (in Russian).
14. **Fersman, A. E.** (1952) About the Problem on Genesis of Minerals and Their Mutual Transformations. *Selected Papers. Vol. 1*. Moscow, Publishing House of AS USSR, 739–750 (in Russian).
15. **Moshchansky, N. A.** (1956). Presentation of Mineral Binders Nature on the Basis of Mendeleev's Periodic Law and Theory on Metastable State. *Proceedings of All-Union Conference on Cement Chemistry*. Moscow, 114–124 (in Russian).
16. **Iliukhin, V. V.**, Kuznetsov, V. A., Lobachev, A. N., Bakshutov, V. S., & Belov, N. V. (1979) *Hydrated Calcium Silicates*. Moscow, Nauka. 183 p. (in Russian).
17. **Taylor, H. F.** (1973) Hydrated Calcium Silicates. *5th International Congress on Cement Chemistry*. Moscow, Stroyizdat, 114–136 (in Russian).
18. **Glukhovsky, V. D.**, Glukhovsky, V. V., Ivliev, A. V., Runova, R. F., & Sheinich, L. A. (1981) Method for Determination of Physical State and Phase Composition of Silicate Substances. Author's Certificate USSR No 800839 (in Russian).

Поступила 13.03.2015