



ЯЧЕИСТЫЙ  
БЕТОН

**masa**

Milestone to your success.

10-я ЮБИЛЕЙНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

МИНСК – МОГИЛЕВ, 29–31 МАЯ 2018 г.

# ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

Организаторы конференции



Информационные партнеры



# masa

Milestone to your success.

## Наши решения – Ваш успех



[www.masa-group.com](http://www.masa-group.com)

Фирма «Маза» предлагает отдельные машины и участки производственных линий, а также установки «под ключ» для промышленного производства строительных материалов: мелкоразмерных бетонных изделий, бордюрного камня, декоративных плит мощения, силикатного кирпича, газобетонных изделий.

Фирма «Маза» осуществляет разработку индивидуальных технических решений, проектирование, изготовление оборудования, его монтаж и ввод в эксплуатацию. Наш Клиент сможет оценить все преимущества работы с поставщиком, производителем и ответственным партнером в одном лице.

Masa GmbH  
Masa-Str. 2  
56626 Andernach  
Germany  
Phone +49 2632 9292 0  
Service Hotline +49 2632 9292 88

Masa GmbH  
Werk Porta Westfalica  
Osterkamp 2  
32457 Porta Westfalica  
Germany  
Phone +49 5731 680 0

Маза-Москва  
Ср. Тишинский пер., 28, офис 220  
123557 РФ, Москва  
Тел. +7 495 23251 27  
Факс +7 495 23251 28  
info@masa.ru

info@masa-group.com  
service@masa-group.com  
www.masa-group.com

Masa - made in Germany.





Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь  
Союз строителей Республики Беларусь  
Государственное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.»  
Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие «Институт БелНИИС»  
Частное проектное унитарное предприятие «ТНКА-Архитек»

# **Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения**

**МАТЕРИАЛЫ  
10-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
МИНСК, МОГИЛЕВ  
29–31 МАЯ 2018 ГОДА**

Минск  
Издатель А.Н. Вараксин  
2018

УДК 666.973.6.035.56(082)  
ББК 38.626.1я43  
О-62

**Редакционная коллегия:**

кандидат технических наук Н.П. Сажнев (ответственный редактор),  
кандидат технических наук Г.С. Гарнашевич,  
кандидат технических наук Ю.А. Рыхленок,  
В.Г. Морозова

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Технология бетона и строительные материалы»  
Белорусского национального технического университета

**Э.И. Батяновский;**

Заслуженный деятель науки Республики Беларусь,  
доктор технических наук,  
профессор кафедры химической технологии вяжущих материалов  
Белорусского государственного технологического университета

**М.И. Кузьменков**

**Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения:**

О-62 материалы 10-й Международной научно-практической конференции. Минск – Могилев, 29–31 мая 2018 г. / редкол.: Н.П. Сажнев (отв. ред.) [и др.]. – Минск : А. Н. Вараксин, 2018. – 148 с.: ил.

**ISBN 978-985-7186-69-3.**

Сборник содержит доклады ученых и специалистов Республики Беларусь, стран СНГ и ЕС, Украины, прозвучавшие на 10-й Международной научно-практической конференции «Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения», которая прошла 29-31 мая 2018 г. в Минске и Могилеве.

Включает результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, посвященных проблемам выбора технологий и оборудования для оптимизации производственных процессов, модернизации и дооснащения существующих линий. Рассмотрены перспективные подходы и направления по использованию в производстве специальных видов добавок комплексного действия с целью совершенствования качественных характеристик изделий и снижения производственных издержек. Особое внимание уделено исследованиям, направленным на улучшение качества стеновых ограждений из автоклавного ячеистого бетона, изучению трещинообразования и методов повышения трещиностойкости, способам снижения влажности изделий и увеличения долговечности наружных ограждающих конструкций.

Представлен опыт проектных организаций по комплексному применению ячеистобетонных изделий при возведении жилых домов и зданий различного предназначения.

Предназначен для научных работников, проектировщиков, технологов, преподавателей высших и средних учебных заведений, аспирантов и практиков строительного дела.

**УДК 666.973.6.035.56(082)**  
**ББК 38.626.1я43**

**ISBN 978-985-7186-69-3**

© Частное проектное унитарное предприятие  
«ТНКА-Архитек», 2018

© Оформление. Издатель А. Н. Вараксин, 2018



## СОДЕРЖАНИЕ

### РАЗДЕЛ 1.

### ПРОИЗВОДСТВО ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

**Сажнев Н.П.**

Производству и применению ячеистого бетона в Республике Беларусь – 50 лет. И более 25 лет процессу обмена знаниями и опытом в ходе семинаров и научно-практических конференций

5

**Иванов А.К.**

Секрет нашего успеха – в успехе наших клиентов

18

**Подволоцкий А.В.**

Состояние рынка блоков из ячеистого бетона в Беларуси

24

**Гринфельд Г.И., Вишневецкий А.А.**

Производство автоклавного газобетона в России и вызовы его широкому применению

28

**Сиротин О.В.**

Рынок автоклавного газобетона Украины в 2017 г. Перспективы отрасли в 2018 г.

33

**Смирнов А.Ю., Рублёв А.М., Баранов А.А., Акулова М.В.**

Ударная технология – повышение эффективности производительности завода – способ снижения себестоимости продукции на Егорьевском заводе строительных материалов

36

**Строцкий В.Н., Зимин С.Г., Ухова Т.А., Филиппов Б.П.**

К вопросу предварительного напряжения крупноразмерных конструкций из ячеистого автоклавного бетона

42

**Лаповская С.Д., Лихвар Т.**

Применение базальтовой микрофибры для армирования теплоизоляционного автоклавного газобетона

50

**Гарнашевич Г.С., Губская А.Г., Власенко Ж.Н., Ясинская Н.С., Сажнев Н.П., Лоско В.В., Лоско А.В.**

Теплофизические и влажностные свойства ячеистого бетона автоклавного твердения

54

**Кузьменков М.И., Мартинов О.Г.**

Пути сушки газосиликатных блоков

60

**Гейба В.П., Белко А.Г.**

Выпуск конструкционно-теплоизоляционных блоков плотностью 300 кг/м<sup>3</sup> и 350 кг/м<sup>3</sup> на Гродненском КСМ

68

**Жакеев Т.А., Баженов И.В.**

Опыт выпуска теплоизоляционных блоков плотностью 200 кг/м<sup>3</sup> в Республике Казахстан

72

**Мечай А.А., Барановская Е.И., Гончар А.Н.**

Применение органических добавок комплексного действия в технологии автоклавного ячеистого бетона

74

<b>Купава А., Баер Р., Хорала В.</b> Оптимизация производства автоклавного газобетона с новой добавкой POROMIX	78
<b>Бовыкин И.А., Пинчук А.Ю.</b> Специфика применения в технологическом процессе производства газобетона автоклавного твердения пластифицирующей добавки на основе композиции поверхностно-активных веществ	85
<b>Лорай С., Романова Г., Шляй У.</b> Модернизация линий Wehrhahn по производству автоклавного газобетона: цели, задачи, инструменты	90
<b>Вольский П.</b> Газообразователи производства Бенда-Лютц: Сила чистого алюминия, передовых добавок и профессиональных кадров	96
<b>Аллахвердиева Е.Г.</b> Сморгоньсиликатобетон: Построим будущее вместе	98
<b>ЗАО «Могилевский КСИ» – базовое предприятие конференции</b>	101
<b>Качество белорусского ячеистого бетона</b>	107

## Раздел 2.

### ПРИМЕНЕНИЕ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

<b>Кацынелъ Р.Б.</b> Гродненский полувековой опыт использования в строительстве ячеистобетонных изделий. Новые задачи	110
<b>Березовский С.Л.</b> Опыт применения блоков из ячеистого бетона РУП «Институт Белгоспроект»	117
<b>Рыхленок Ю.А.</b> Способы повышения теплозащитных свойств и долговечности наружных стен зданий, выполняемых кладкой из ячеистобетонных блоков	122
<b>Пилипенко В.М, Данилевский Л.Н., Терехов С.В.</b> Энергетические характеристики энергоэффективных зданий второго поколения на начальной стадии эксплуатации	126
<b>Данилевский Л.Н., Терехова И.А., Пивень О.В.</b> Нормирование теплозащитных показателей ограждающих конструкций зданий. Зарубежный и отечественный опыт. Тенденции развития	130
<b>Кудряшов В.А., Нгуен Тхань Киен, Чан Чунг Хиеу, Мордич М.М.</b> Огнестойкость и огнесохранность сжатых конструкций с применением автоклавных ячеистобетонных блоков	135
<b>Жигулев К.И.</b> Обновленная линейка оборудования Strapex для упаковки газобетонных блоков	143
<b>Болотских О.Н.</b> Современная лаборатория по диагностике цемента и бетона: задачи, оборудование, помещение и мебель. Европейские методы испытаний цемента и бетона	144

# ПРОИЗВОДСТВУ И ПРИМЕНЕНИЮ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ – 50 ЛЕТ. И БОЛЕЕ 25 ЛЕТ ПРОЦЕССУ ОБМЕНА ЗНАНИЯМИ И ОПЫТОМ В ХОДЕ СЕМИНАРОВ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИХ КОНФЕРЕНЦИЙ



**Сажнев Н.П.,**  
к.т.н., ст. науч. сотр.

При наличии достаточной сырьевой базы (песок, известь, цемент, вода) и развитого производства, оснащенного современным технологическим оборудованием, ячеистый бетон автоклавного твердения является стратегическим строительным материалом в Республике Беларусь.

Начатое в 60-х годах прошлого столетия производство ячеистого бетона – одна из самых динамично развивающихся в стране отраслей строительных материалов.

Вначале это были предприятия с невысокими производительностью и качеством готовой продукции. Низкая долговечность изделий, а также порой нерациональное их применение

сдерживали развитие и дальнейшее наращивание производства ячеистобетонных изделий.

В 1968–1970 гг. в городах Гродно, Могилев и Сморгонь были введены в эксплуатацию новые заводы (комбинаты) по производству ячеистобетонных изделий по комплексной вибротехнологии. Это были первые в СССР заводы, на которых использовалось отечественное оборудование. В 1977–1980 гг. на этих предприятиях были установлены резательные машины типа «Универсал-60», а в 1989–1991 гг. – линии «Силбетблок» (данное оборудование разработано институтом НИПИСиликатобетон г. Таллинна), в 1989–1990 гг. в городах Любань, Бобруйск и Орша – линии «Бобруйск-1,2».

В 1991 г. объем выпуска изделий из ячеистого бетона в Республике Беларусь составлял 1,7 млн м<sup>3</sup> в год, в том числе 0,34 млн м<sup>3</sup> армированных панелей для жилых, промышленных и общественных зданий.

Постановлением Совета Министров БССР, принятом в 1988 г., ставилась задача в 1995 г. достичь 3,5 млн м<sup>3</sup> в год. В соответствии с этим в стране шло проектирование и строительство целого ряда крупных мощностей по производству ячеистобетонных изделий. Кроме того, постановлением Государственного комитета Республики Беларусь по архитектуре и строительству № 5 от 7 апреля 1992 г. было принято нормативное значение сопротивления теплопередаче для наружных стен не менее 2,0–2,5 м<sup>2</sup>·°C /Вт и рекомендуемое 3,5–5,0 м<sup>2</sup>·°C/Вт.

Все возрастающие объемы выпуска изделий из ячеистого бетона и новые повышенные требования к термическому сопротивлению наружных ограждающих конструкций зданий

потребовали принципиально новых подходов к технологии изготовления ячеистобетонных изделий и их применению в строительстве.

*Решению этого вопроса в значительной мере способствовал обмен опытом ведущих отечественных и зарубежных специалистов в области производства и применения изделий из ячеистого бетона, в частности, проведение семинаров, конференций и профессиональных встреч.*

Двадцать шесть лет назад в Минске при информационной поддержке журнала «Строительные материалы» (Российская Федерация) с 17 по 20 ноября 1992 г. была проведена конференция (семинар) «Дальнейшее развитие производства и применения в строительстве изделий из ячеистого бетона» [1, 2]. Ее организаторами выступили Министерство стройматериалов и Госстрой Республики Беларусь и Межреспубликанская ассоциация «Силикат». В состав ассоциации входили научно-исследовательские и проектные институты Республики Беларусь и Украины (НИИСМ, Белгипростром, Белавтоматостром, СПКО «Оргтехстром», АП «Белпроект» – г. Минск, Гипростроммашина – г. Киев и др.), машиностроительные предприятия (заводы «Ирмаш» – г. Брянск,

ПО «Строймаш» – г. Минск) и белорусские заводы ячеистого бетона и силикатного кирпича.

Цель конференции – обмен опытом, создание и освоение новых мощностей по производству изделий из ячеистого бетона и их применение в строительстве; разработка перспективных направлений развития производства; установление деловых контактов между специалистами и фирмами для реализации перспективных идей.

В работе профессионального форума приняли участие ученые, проектировщики, производственники и руководители отраслей стран СНГ и Прибалтики, Польши, Чехословакии, Германии, Республики Корея и др., обсудившие состояние и направления развития производства ячеистобетонных изделий как в Беларуси, так и в странах СНГ и Европы.

Был зачитан целый ряд докладов по технологии производства ячеистого бетона и вяжущих материалов. Например, ученые ГАО «Силбет», НИПИСиликатобетон (г. Таллинн) и МРА «Силикат» представили анализ технико-экономических показателей ячеистого бетона, изготовленного по литевой и ударной технологии. На основании результатов широких экспериментальных исследований установлено, что ударная технология (по сравнению с литевой) позволяет уменьшить расход сырьевых материалов: цемента на 20–30%, извести на 10–15%. При этом время выдержки на посту «созревания» сокращается на 1,0–1,5 часа, а энергозатраты при помоле и автоклавной обработке уменьшаются на 8–20% благодаря использованию грубодисперсного кремнеземистого компонента и пониженного количества воды в массиве при его автоклавировании. Промышленные эксперименты по изготовлению крупных армированных ячеистобетонных изделий по ударной технологии показали, что помимо эффекта тиксотропного разжижения смеси происходит формирование околоарматурной зоны и обеспечение «бестеневого» обволакивания смеси вокруг арматурного каркаса. Это и обеспечивает полное сцепление арматуры с бетоном и повышение прочностных показателей армированных изделий.

В Республике Беларусь с 1982 г. по ударной технологии выпущено более 75 млн м<sup>3</sup> ячеистого бетона.

Специалисты ГП НИИСМ ознакомили коллег с технологией производства извести мокрым способом во вращающихся печах, а также с использованием агрегатов скоростной термообработки, в которых материал обжигается во взвешенном состоянии, где мелкая частица мела находится всего несколько секунд,





что исключает возможность пережога конечного продукта – извести.

Ученые МРА «Силикат» и ГП «НИИСМ» представили результаты лабораторных и натурных исследований фрагмента ячеистобетонной стеновой панели толщиной 300 мм и фрагментов кладки наружного стенового ограждения толщиной 300 мм из бетона плотностью 600 и 700 кг/м<sup>3</sup>, выполненных на клею с толщиной шва 2–3 мм, а также на растворе с толщиной шва 10–20 мм. Исследования показали, что на второй год влажность фрагментов оставалась постоянной, к концу третьего года влагосодержание фрагментов установилось постоянным и не превышало 4,5% по массе. На основании результатов замеров весовой влажности наружных стен жилых домов из ячеистого бетона в городах Гродно, Могилев и Сморгонь, а также вышеизложенных исследований в СНБ 2.01.01-93 «Строительная теплотехника» было внесено изменение № 1, предусматривающее для ячеистого бетона плотностью 300–700 кг/м<sup>3</sup> величину эксплуатационной влажности для условий эксплуатации «А» и «Б» соответственно 4% и 5% по массе.

Специалисты немецких фирм «Hebel» и «Ytong» сообщили о технологиях изготовления ячеистого бетона на различных видах вяжущих материалов, в том числе и армированных изделий с высокой геометрической точностью; фирмы «Дорстенер» – об оборудовании для производства ячеистого бетона и силикатного кирпича.

Об отечественном оборудовании шла речь в докладе представителей института «Гипростроммашина» (г. Киев) – «Формовочно-резательный комплекс типа «Конрекс 90/240» для производства ячеистобетонных изделий» (конвейерная линия предлагалась для действующих и новых заводов с диаметром автоклавов 3,6 м). Специалисты ЦКБ «Мелиормаш» (г. Брянск) и РНТА «Силикат» (г. Киев) представили доклад «Унифицированные конвейерные резательные комплексы «Конрекс 90/20-50» и «Конрекс 90/60-120». Конвейерные линии предлагались для заводов ячеистого бетона с диаметром автоклавов 2,0 м. Во всех линиях «Конрекс» принята комплексная ударная технология (динамические воздействия на ячеистобетонную смесь при перемешивании) с формованием массива высотой 900 мм.

У архитекторов Беларуси к этому времени появились интересные решения и наработки по применению материала. Например, в докладе АП «Белпроект» «Применение ячеистого бетона в строительстве жилых и общественных зданий. Прогрессивные проекты и проектные решения» указывалось на комплексное

применение армированных изделий (стеновых панелей, плит покрытий и перегородок) в гражданских и промышленных зданиях. Комплексное применение ячеистобетонных изделий обеспечивало ежегодно строительство в Республике Беларусь только жилых зданий общей площадью 400–500 тыс. м<sup>2</sup>.

В докладе института «БелНИИгипросельстрой» «Архитектурные и конструкционные особенности применения ячеистых бетонов в малоэтажном строительстве Республики Беларусь» впервые было предложено строительство энергоэффективных зданий за счет применения в наружных стенах ячеистого бетона с различными плотностями. Областные проектные институты (Гродногражданпроект, Минскгражданпроект и др.) также представили интересные примеры применения ячеистого бетона в проектах зданий с различными архитектурно-планировочными, конструктивными и технологическими решениями.

Участники конференции посетили ПО «Сморгоньсиликатобетон», где ознакомились с производством ячеистого бетона по ударной технологии с формованием массивов высотой 900 мм на линиях типа «Силбетблок» и формованием массивов высотой 1200 мм на конвейерной линии типа «Бобруйск-1,2» на Бобруйском КСМ.

Следует отметить, что линии типа «Силбетблок» до настоящего времени успешно эксплуатируются на целом ряде заводов Республики Беларусь – Могилевском комбинате силикатных изделий, Сморгоньсиликатобетоне, Гродненском комбинате строительных материалов и др.

**В** дальнейшем несмотря на резкое уменьшение объемов производства блоков и практически полное прекращение производства армированных изделий из ячеистого бетона в Республике Беларусь постепенно накапливались опыт и, естественно, проблемы в производстве и особенно в применении ячеистого бетона.

В 2000 г. годовой объем производства ячеистого бетона составил около 1,0 млн м<sup>3</sup>. И это при том, что в 1997 г. был введен в промышленную эксплуатацию новый завод в ОАО «Забудова». «Завод строительных конструкций» («ЗСК») на оборудовании и по литьевой технологии немецкой фирмы «Hebel» («XELLA») производит полный комплект строительных изделий на дом из ячеистого бетона: стеновые блоки, армированные панели наружных и внутренних стен, плиты перекрытия и покрытия, брусковые несущие перемычки, лотковые бло-



ки для несущих перемычек, арочные перемычки и лестничные ступени.

На новые изделия из ячеистого бетона практически отсутствовали стандарты и правила их применения. Например, по ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия» влажность бетона, изготовленного с применением песка, должна была составлять не более 25% по массе. Для ячеистого бетона, изготовленного по литьевой технологии, это нереально. При «литьевой» технологии В/Т, в зависимости от плотности бетона, составляет 0,6–0,7 (60–70% воды), следовательно, послеавтоклавная влажность бетона составляет половину В/Т.

Требования ГОСТ 19570-73 «Панели из автоклавного ячеистого бетона для внутренних несущих стен, перегородок и перекрытий жилых и общественных зданий» исключили применение новых армированных изделий.

Отсутствовала нормативная база по расчету кладки ячеистобетонных блоков на клею, исследования по огнестойкости изгибаемых изделий из ячеистого бетона – плит перекрытия и покрытия и брусовых перемычек, и целый ряд других вопросов по производству и применению ячеистобетонных армированных изделий.

По заявке ОАО «Забудова» и заданию Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь РУП «Институт БелНИИС» начало исследования:

- деформативно-прочностных показателей кладки блоков на легких и тонкослойном (клею) растворах;
- деформационно-прочностных показателей ячеистобетонных армированных изгибаемых элементов; работы ячеистобетонных плит перекрытий со стенами;
- теплотехнических показателей ограждающих конструкций (стен) кладки на легких и тонкослойных растворах, в т.ч. армированных растворных швов.

Результаты проведенных исследований были использованы, например, для изменений в СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции» СНБ 2.04.01-97 (далее ТКП 45-2.04-43-2006) «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования» и при разработке всей последующей нормативно-технической и проектной документации на изделия и их применение в малоэтажном и многоэтажном строительстве, в т.ч. каркасных зданий различного назначения.

Одновременно с огромным комплексом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по технологии производства и применения ячеистого бетона, проводимых РУП «Институт БелНИИС», ГП «НИИСМ», Белорусским государственным технологическим университетом, ИТЦ ОАО «Забудова», Белорусским национальным техническим университетом и др. велось экспериментальное строительство. Одним из первых стал опыт комплексного применения армированных и неармированных изделий из ячеистого бетона при строительстве в Минске двух коттеджных поселков – Большая Слепянка (проект ОАО «Институт «Минскгражданпроект») и по

проспекту «Газеты Известий» (мастерская архитектора Чадовича), а также нового микрорайона жилой застройки (до пяти этажей) в п. Чисть Молодечненского района (проект конструкторского бюро ОАО «Забудова»).

Стояла задача в кратчайшие сроки продемонстрировать новые возможности ячеистобетонных конструкций при строительстве теплого и комфортабельного жилого дома и доказать их преимущество. В жилых домах были запроектированы мансардные этажи. Ограничение мансардного пространства плитами перекрытия и покрытия из ячеистого бетона повысило степень огнестойкости домов и сократило противопожарные разрывы.

Повышение несущей способности перекрытия и покрытия обеспечивалось устройством армированных монолитных обвязочных контуров и укладкой в швы между плитами отдельных арматурных стержней, которые заводились в обвязочный контур. Методика расчета такого перекрытия и покрытия была разработана РУП «Институт БелНИИС» и проверена натурными испытаниями на строящихся домах. Наружные стены были выполнены на клею из ячеистобетонных блоков плотностью  $500 \text{ кг/м}^3$  толщиной 375 мм. Внутренние стены выполнены также из ячеистобетонных блоков. Перемычки над оконными и дверными проемами выполнены из брусковых перемычек и U-образных (лотковых) блоков.

Большая помощь в экспериментальном строительстве была оказана фирмой «Nebel» – обучение, консультации, проекты домов и др.

При проектировании жилых коттеджных домов остро встал вопрос огнестойкости армированных плит перекрытия. В 1997 г. во всерос-

сийском научно-исследовательском институте противопожарной обороны МВД РФ (ВНИИ ПО МВД РФ) по ГОСТ 30247.1-94 были проведены огневые испытания плит перекрытия размером  $6,0 \times 0,6 \times 0,25 \text{ м}$ , класса бетона по прочности на сжатие В3,5 и средней плотности бетона  $700 \text{ кг/м}^3$ . В ходе испытаний в течение 70 мин. нагревания плит до  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  ни одного из предельных состояний достигнуто не было. Согласно ГОСТ 30247.0-94 предел огнестойкости плит составил не менее 70 мин., что соответствует REI 60.

Проведенные в ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь» огневые испытания фрагментов стен и перегородок из ячеистого бетона показали, что блоки из ячеистого бетона могут применяться для устройства стен и перегородок в зданиях всех степеней огнестойкости согласно классификации ТКП 45-2.02.142-2011 «Здания, строительные конструкции, материалы и изделия. Правила пожарно-технической классификации», а также для противопожарных перегородок 1-го типа с пределом огнестойкости REI 150 (2,5 часа по всем критериям достижения предельного состояния).

Ячеистый бетон обладает уникальным свойством – повышение прочности при нагревании. Исследования, проведенные в Шведском техническом университете и Финском техническом исследовательском центре, показали, что при повышении температуры до  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  прочность ячеистого бетона увеличивается на 85%, а усадка бетона остается практически без изменения при повышении температуры до  $700 \text{ }^\circ\text{C}$  [7]. Исследованиями по огнестойкости





и огнесохранности сжатых конструкций из ячеистого бетона в Республике Беларусь выявлено, что прочность и предельные относительные деформации сжатия газобетона в диапазоне температур от  $168\pm 35$  до  $582\pm 25$  °С изменяются незначительно и с точностью  $\pm 15\%$  могут быть обобщены. Для диапазона температур  $782\pm 32$  до  $974\pm 47$  °С характерно существенное снижение прочности и увеличение предельных деформаций сжатия, связанное с дегидратацией тоберморита и кристаллизацией волластонита [9]. Это особенно важно для перегородок, которые в первую очередь разрушаются при пожаре, исключая или затрудняя эвакуацию людей. При выборе материала для перегородок, по всей видимости, особое внимание следует обращать на огнестойкость материала, а не на звукоизоляцию. Например, при одной и той же толщине перегородки из кирпича или ячеистого бетона, последний уступает по звукоизоляции, но значительно превосходит по огнестойкости и огнесохранности. Неслучайно в небоскребе в г. Куала-Лумпур (Малайзия) перегородки выложены из ячеистого бетона.

**Н**акопленный опыт применения ячеистого бетона в малоэтажном строительстве позволил приступить к использованию этого материала в каркасных многоэтажных зданиях, в том числе и высотных. Например,

по ул. Тимошенко в Минске построены три 9-этажных дома с различными каркасными системами и наружными стенами из ячеистого бетона поэтажно опертыми на плиты перекрытия или ригеля каркаса: однослойная стена из блоков плотностью  $400 \text{ кг/м}^3$  с кладкой на клею (проект РУП «Институт БелНИИС»); однослойная стена из блоков плотностью  $500 \text{ кг/м}^3$  (проект ГП «Институт НИПТИС им. Атаева С.С.»); а также трехслойная с колодезной кладкой из бетона плотностью  $600 \text{ кг/м}^3$  (проект АП «Белпроект»). Межквартирные и межкомнатные перегородки выполнены также из ячеистобетонных блоков.

Сравнительная технико-экономическая оценка проектов домов показала, что наружные однослойные стены из ячеистого бетона плотностью  $400 \text{ кг/м}^3$  с кладкой на клею, опертые на край диска перекрытия, являются наиболее рациональным решением.

Экспериментальное проектирование наружных поэтажно опертых стен каркасных зданий, выполнявшееся в РУП «Институт БелНИИС», постоянно сопровождалось всесторонней научно-технической поддержкой, что позволило уже на этапе разработки проектной документации избежать целого ряда ошибок, приводящих порой к резкому ухудшению эксплуатационных показателей стеновых конструкций.



Наряду с этим ОАО «Институт «Минскгражданпроект»», УП «Институт Гродногражданпроект» и другими региональными институтами продолжалось проектирование и строительство целого ряда различных зданий из ячеистого бетона.

Сегодня трудно представить строительство в Республике Беларусь без применения ячеистого бетона. Это жилые поселки, агрогородки, гостиницы, торгово-развлекательные центры, ледовые дворцы, спортивные арены, высотные жилые комплексы, Национальная библиотека Республики Беларусь – вот далеко неполный перечень проектируемых и построенных объектов.

В 1997 г. РУП «Институт БелНИИС» совместно с ОАО «Забудова» разработан альбом «Узлы и детали наружного утепления существующих зданий с применением продукции ОАО «Забудова»» и после практической апробации утепления различных зданий с 2005 г. введено в действие Пособие П8-04 к СНиП 3.03.01-87 «Проектирование и устройство тепловой изоляции наружных стен зданий и сооружений с применением изделий из ячеистого бетона».

Подробно исследования деформативно-прочностных и теплотехнических показателей кладки и армированных изделий из автоклав-



ного ячеистого бетона, основные положения по проектированию несущих и ограждающих конструкций, опыт применения ячеистого бетона в гражданском строительстве и разработки нормативно-технической документации, а также физико-механические свойства ячеистого бетона, изложены в книге «Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика» [7].

Изданные в нашей стране книги «Производство ячеистобетонных изделий. Теория и практика» (три издания [3, 4, 5]), «Производство ячеистобетонных изделий автоклавного твердения. Пособие» [6], «Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика» [7] и «Как построить индивидуальный дом из ячеистого бетона» [8] оказали существенную роль



Конференция 2012 г.  
 СЗАО «Кварцмелпром», г. Малорита, Брестская обл.

в деле производства и применения ячеистого бетона как в Беларуси, так и за рубежом.

В настоящее время в Республике Беларусь разработан полный комплект нормативно-технической документации, гармонизированной с европейскими нормами и регламентирующей современные правила их изготовления и применения: ТКП 45-5.03-307-2017 [10] и Пособия к ТКП, СТБ 1570-2005 [11], СТБ 1117-98 [12], СТБ EN 771-4 [13], СТБ 1330-2002 [14], СТБ 1332-2002 [15], СТБ 1724-2007 [16], СТБ 1034-96 [17], СТБ 1989-2009 [18], СТБ 1185-99 [19].

Для проектирования конструкций зданий с применением ячеистобетонных изделий – ТКП EN 1992-1-2009 [20], СТБ EN 12602-2014 [21], узлов и деталей – Серия Б2.000-3.07 [22], Серия Б2.030-13.10 [23] и Рекомендации по проектированию [24].

Учитывая высокую технико-экономическую эффективность изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения по сравнению с другими строительными материалами аналогичного функционального назначения, Основными направлениями развития материально-технической базы строительства Республики Беларусь на период 1998–2015 гг. ячеистобетонные изделия определены главным стеновым материалом, и в 2015 г. потребность в нем должна была составлять 3,14 млн м<sup>3</sup>.

**И** вновь встал на повестку дня обмен опытом ведущих ученых и специалистов в области производства и применения изделий из ячеистого бетона.

После десятилетнего перерыва 29–30 мая 2002 г. в Минске и поселке Чисть (ОАО «Забудова») проведена вторая международная конференция (семинар) «Научно-технические проблемы ячеистого бетона автоклавного твердения», в которой приняли участие более 120 специалистов из Германии, Беларуси, Эстонии, Литвы, Латвии, Украины и России. Наиболее представительной была делегация из Российской Федерации.

На конференции были представлены доклады научно-исследовательских и проектных белорусских и российских институтов (БелНИИС, НИИЖБ, ЦНИЭП жилища, НИИСМ, Минскгражданпроект, Белпроект), доклады ведущих заводов ячеистого бетона (Могилевский КСИ, Гродненский КСМ, Минский КСИ и др.).

Участники конференции осмотрели коттеджный поселок (малоэтажная застройка) Большая Слепянка в Минске, микрорайон жилой многоэтажной застройки и жилые дома, утепленные ячеистым бетоном, в п. Чисть и др. объекты. В ОАО «Забудова» ознакомились с технологией производства ячеистого бето-



на, в т.ч. армированных изделий по технологии фирмы «Hebel» («XELLA»), а на «Минском КСИ» – с работой технологической линии формования и разрезки ячеистобетонных массивов на отечественной линии «Конкрекс 90/20-50».

В ходе обмена мнениями и принятия рекомендаций по улучшению технологии производства и применения ячеистого бетона представители российской, украинской и эстонской делегаций заявили о намерении участвовать в очередной конференции. Таким образом, начиная с 2002 г. последовательно, через каждые два года в Республике Беларусь собираются исследователи, специалисты и практики газобетонной отрасли, производители и поставщики оборудования для заводов, а также программных продуктов, упаковочных технологий, – все, кто отдает свои силы и знания делу совершенствования ячеистого бетона.

Профессиональные форумы в разные годы состоялись в городах Гродно, Могилев, Брест, Минск, Сморгонь, поселке Чисть. Их участники и гости ознакомились с производством ячеистобетонных изделий на передовых предприятиях Республики Беларусь: ОАО «УКХ «Забудова», ЗАО «Могилевский КСИ», ОАО «Сморгонь-силикатобетон», ОАО «Гродненский КСМ», ОАО «Минский КСИ» и ЗАО «КварцМелПром». Представлено и опубликовано более 180 докладов на различные темы: сырьевые материалы для производства ячеистого бетона; технологии производства (ударная и литьевая); оборудование; основные свойства и применение, рынки сбыта готовой продукции и другие доклады.

В конференциях активное участие принимали фирмы по поставке оборудования для производства ячеистого бетона «MASA-HENKE Maschinen fabrik GmbH», «HESS AAC Systems B.V.», «WKB Systems GmbH», «WEHRHANN

GmbH», «Aircrete Europe B.V.», ОАО «Тяжмехпресс» (г. Воронеж).

Сегодня мы проводим очередную 10-ю юбилейную конференцию.

*Международные встречи ценны тем, что позволяют не только проанализировать профессиональный опыт и наработки, обсудить вопросы практического применения материала, но и представить будущее развитие газобетонной отрасли. В дискуссиях и спорах специалистов высвечиваются достоинства и недостатки материала, что дает возможность достаточно уверенно вычерчивать траекторию его последующего совершенствования, консолидировать и мобилизовать усилия всех заинтересованных участников перед новыми вызовами рынка.*

После ввода в 1997 году в промышленную эксплуатацию завода ячеистого бетона фирмы «Hebel» (п. Чисть) и появления на стройках изделий нового качества, например, с отклонением геометрических размеров армированных и неармированных изделий  $\pm 1,5$  мм (кладка на клею), на действующих комбинатах начались модернизация и реконструкция, а также строительство новых заводов. При этом на действующих заводах были модернизированы помольно-сырьевые и автоклавные отделения. Новые линии вобрали в себя как передовые зарубежные технологии (резка массива с предварительным кантованием на  $90^\circ$  и автоматическая упаковка готовой продукции), так и лучшие достижения отечественной ударной технологии.

В результате объединения технологий изделия из ячеистого бетона по некоторым показателям превосходят европейские аналоги. Например, их отпускная влажность составляет 25%, а блоков, изготовленных по классической литьевой технологии, – 35%.

В 2004 г. на Могилевском комбинате силикатных изделий после реконструкции одной из действующих технологических линий введена в промышленную эксплуатацию новая линия по производству ячеистобетонных изделий, в которой объединена отечественная ударная технология и резательная технология фирмы «MASA-HENKE». Годовая производительность линии – 120 тыс. м<sup>3</sup> (в цеху установлено три автоклава диаметром 3,6 м). Модернизированы также оборудование и системы автоматического управления технологическими процессами в помольном, смесеприготовительном, формовочном, автоклавном отделениях. В 2010 г. на комбинате введе-

на в промышленную эксплуатацию еще одна (вторая) новая технологическая линия по производству ячеистобетонных блоков производительностью 300 тыс. м<sup>3</sup> в год. Основное технологическое оборудование (смесеприготовительное, формовочное, резательное и др.) поставлено фирмой «MASA-HENKE».

В 2005 г. реконструкции подверглось производство ячеистого бетона в ОАО «Сморгонь-силикатобетон», где также были объединены две технологии – отечественная ударная и немецкая резательная фирмы «MASA-HENKE». Производительность линии – 1000 м<sup>3</sup> изделий в сутки. Из отечественного технологического оборудования было оставлено только помольное – мельницы мокрого помола песчаного шлама и сухого помола известково-песчаного вяжущего, а также восемь автоклавов диаметром 3,6 м.

В 2005 г. в ОАО «Любанский завод стеновых блоков» проведена модернизация одной из технологических линий по производству ячеистобетонных блоков типа «Бобруйск-1,2» – установлен комплект резательных машин Воронежского ОАО «Тяжмехпресс».

В 2006 г. в ОАО «Гродненский комбинат строительных материалов» введена в эксплуатацию новая линия по производству ячеистобетонных блоков «WENRHANN SMART» (мощность 120 тыс. м<sup>3</sup> в год) с разрезкой массивов на мелкие ячеистобетонные блоки. Фирмой «WENRHANN» поставлены комплект резательных машин, формы, смесеприготовительное, дозировочное и транспортное оборудование применительно к тупиковым автоклавам диаметром 3,6 м. Помольное и автоклавное отделения (три автоклава диаметром 3,6 м), а также ударные площадки (две) использованы существующие.

В 2009 г. в ОАО «Березовский комбинат силикатных изделий» (Брестская обл.) введен в действие завод по изготовлению ячеистобетонных изделий (мелкие блоки, лотковые блоки) с суточной производительностью 1200 м<sup>3</sup>. Все технологическое оборудование поставлено фирмой «MASA-HENKE».

В 2009 г. на Минском КСИ сдан в эксплуатацию цех по изготовлению ячеистобетонных блоков суточной производительностью 1450 м<sup>3</sup>. Основное технологическое оборудование поставлено фирмой «MASA-HENKE», автоклавы – российской фирмой «Уралхиммаш». Завод работает по ударной технологии.

В 2009 г. в ОАО «Оршастройматериалы» (г. Орша, Витебская обл.) сдан в промышленную эксплуатацию комплект резательного оборудования Воронежского ОАО «Тяжмехпресс». Суточная производительность линии – 550 м<sup>3</sup>

мелких блоков. Завод работает по литьевой технологии.

За период с 2001 по 2012 гг. в ОАО «Управляющая компания холдинга «Забудова» за счет модернизации производства, в частности установки дополнительных пяти автоклавов фирмы «SCHOLZ», второй автоматической линии упаковки блоков, годовая производительность увеличилась с 200 тыс. м<sup>3</sup> до 400 тыс. м<sup>3</sup> изделий.

С целью ориентации на производство профилированных армированных изделий, в том числе и на тонкостенные конструкции, в 2012 г. ОАО «Управляющая компания холдинга «Забудова» совместно с голландской фирмой «AIRCRETE Europe B.V.» провела модернизацию резательного комплекса «Hebel».

Наряду с модернизацией действующих заводов в 2009–2013 гг. построены новые заводы ячеистого бетона.

В 2009 г. в ОАО «Красносельскстройматериалы» (Гродненская обл.) введен в промышленную эксплуатацию цех по выпуску ячеистобетонных изделий с суточной производительностью 650 м<sup>3</sup>. Основное технологическое оборудование поставлено фирмой «MASA-HENKE», автоклавы – российской фирмой «Уралхиммаш». Завод работает по ударной технологии.

В 2009 г. ООО «Газосиликат» (Могилевская обл., д. Затишье) освоило производство мелких ячеистобетонных блоков. Основное технологическое оборудование изготовлено китайской фирмой «CHANJZHOU TEEYER ENGINEERING MACHINERY CO. LTD». Суточная производительность линии – 1000 м<sup>3</sup>.

В 2012 г. в ОАО «Гомельстройматериалы» сдана в промышленную эксплуатацию технологическая линия CL-4 фирмы «WKB Systems GmbH». Годовая производительность линии – 180 тыс. м<sup>3</sup>. В настоящее время действуют одна линия «Универсал-60» и линия CL-4. Завод работает по ударной технологии.

В 2012 г. СЗАО «КварцМелПром» (п. Хотиславль, Брестская обл.) введен в эксплуатацию новый завод по изготовлению ячеистого бетона суточной производительностью 1450 м<sup>3</sup>. Все технологическое оборудование поставлено фирмой «MASA-HENKE». Завод работает по ударной технологии.

Оценивая обширный объем работ по производству и применению ячеистого бетона в Республике Беларусь, следует упомянуть о сопутствующей продукции, в первую очередь – современных эффективных составах смесей для нанесения на ограждающие конструкции зданий различных защитно-деко-



ративных покрытий, многие из которых разработаны РУП «Институт БелНИИС» и заводами-изготовителями сухих строительных смесей. Накоплен практический опыт по причинам, вызывающим разрушение защитно-декоративных покрытий. Поэтому ряд требований стандартов (СТБ 1307-2012, ТКП 45-1.03-311-2018 и ТКП 45-2.04-43-2006) следует уточнить и дополнить, особенно с учетом опыта мирового лидера по производству и применению ячеистого бетона фирмы «XELLA» и «YTONG» [25, 26] и рекомендаций немецких специалистов по изготовлению и нанесению защитно-отделочных покрытий [27].

Для ячеистобетонных конструкций стен зданий с повышенными влаго- и паропроницаемостью, невысокой прочностью на сжатие и растяжение, низкими модулем упругости и морозостойкостью и высоким водопоглощением необходимы повышенные требования к защитно-декоративным покрытиям. При этом покрытия должны выполнять не только декоративную функцию, но и защитную – обладать низким водопоглощением, высокой паропроницаемостью, достаточной адгезией к основанию, морозо- и атмосферостойкостью, а также стойкостью к термовлажностным и термоциклическим нагрузкам. Необходимо чтобы теплопроводность покрытий, средняя плотность и прочность на сжатие и растяжение были сопоставимы с физико-техническими характеристиками ячеистого бетона. При несоблюдении этих требований в зоне контакта покрытия с основанием (ячеистым бетоном) неизбежно возникнут напряжения, приводящие к растрескиванию покрытия и его порой быстрому разрушению [5]. Ячеистый бетон дополнительно увлажняется и при косых дождях; из-за попеременного замораживания и оттаивания бетон разрушается, что в конечном итоге сказывается на надежности и долговечности самого здания.

Как уже отмечалось выше, разработан ряд нормативно-технической документации по применению ячеистобетонных блоков в строительстве жилых зданий [22, 23, 24]. Однако принятые в проектной документации технические решения порой не в полной мере учитывают специфические физико-механические свойства ячеистого бетона, которые не обеспечивают сопротивляемость несущих и ограждающих конструкций жилых зданий неблагоприятным внешним воздействиям, обусловленным эксплуатационными, техническими и климатическими факторами. Кроме того, наблюдается нарушение технологии строительства и правил содержания зданий [28]. По указанным выше



Конференция 2014 г., Минск – Могилев  
ЗАО «Могилевский КСИ»



Конференция 2016 г., Минск  
 ОАО «Минский комбинат силикатных изделий»

причинам, на ряде зданий необходимо было проводить ремонтно-восстановительные работы, что отрицательно сказывается на имидже ячеистого бетона. По-видимому, целесообразно внести уточнения и дополнения в нормативно-техническую документацию и корректировку в проекты зданий.

К сожалению, ограниченный объем данной статьи не позволяет подробно рассказать о результатах многолетних наблюдений за состоянием наружных стен из ячеистобетонных блоков в индивидуальных, многоэтажных и каркасных зданиях и их обследований, а также представить развернутый анализ причин возникновения повреждений. Этому вопросу можно было бы посвятить отдельную статью, а может и книгу – настолько богатым и интересным в техническом плане является собранный материал.

Накопленный опыт эксплуатации наружных стен из ячеистого бетона, в первую очередь каркасных зданий, позволил уточнить некоторые конструктивные решения узлов и деталей стен, усовершенствовать и сделать их надежными и внести соответствующие корректировки в документацию.

*В рамках настоящей конференции полагаю целесообразным обменяться опытом по указанной тематике, а также рассмотреть вопросы разработки рекомендаций по эксплуатации и ремонту зданий из ячеистого бетона – упреждающие мероприятия от разрушений стен.*

В заключение следует отметить, что несмотря на огромный объем производства ячеистого бетона доля армированных изделий ничтожно мала.

Еще на заре производства ячеистого бетона, примерно сто лет тому назад, из этого материала изготавливались в основном армированные изделия – плиты покрытия для утепления кровель зданий. Как отмечалось выше, в Республике Беларусь до распада Советского Союза ежегодно из армированных ячеистобетонных изделий строилось только жилых домов 400–450 тыс. м<sup>2</sup>, кроме того армированные изделия широко применялись при строительстве промышленных и общественных зданий. Все здания, построенные с применением армированных ячеистобетонных изделий, обладают высокой степенью надежности и долговечности.

В ходе 5-й международной конференции «Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения», прошедшей в 2011 г., отмечалась тенденция на снижение

плотности ячеистобетонных изделий и производство в заводских условиях сборных крупноразмерных стеновых панелей для индустриального домостроения [28].

Для развития производства и применения крупноразмерных армированных стеновых панелей и другой номенклатуры изделий в Республике Беларусь имеется необходимая нормативная база, а также наработаны технические решения эффективных ограждающих конструкций зданий, базирующихся на результатах отечественных и зарубежных исследований прошлого и начала текущего столетия.

Совместная постоянная творческая работа производителей ячеистого бетона, научно-исследовательских и проектных институтов и строительных организаций позволит избежать возможных ошибок, оперативно решать возникающие технические и организационные вопросы, а также сократить сроки для достижения поставленной цели – эффективного производства и комплексного применения армированных ячеистобетонных изделий. Это залог индустриального энергоэффективного жилья с высокими потребительскими качествами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Журнал «Строительные материалы». – М., 1992, № 10 (454) – 30 с.
2. Журнал «Строительные материалы». – М., 1992, № 9 (453) – 31 с.
3. Сажнев, Н.П., Гончарик, В.Н., Гарнашевич, Г.С., Соколовский, Л.В. Производство ячеистобетонных изделий. Теория и практика. – Мн.: Стринко, 1999. – 283 с.
4. Сажнев, Н.П., Гончарик, В.Н., Гарнашевич, Г.С., Соколовский, А.В., Сажнев, Н.Н. Производство ячеистобетонных изделий. Теория и практика / 2-е изд. доп. – Мн.: Стринко, 2004. – 381 с.
5. Сажнев, Н.П., Сажнев, Н.Н., Сажнева, Н.Н., Голубев, Н.М. Производство ячеистобетонных изделий. Теория и практика / 3-е изд. перераб. и доп. – Мн.: Стринко, 2010. – 459 с.
6. Батяновский, Э.И., Голубев, Н.М., Сажнев, Н.Н. Производство ячеистобетонных изделий автоклавного твердения. Пособие. – Мн.: Стринко, 2009. – 127 с.
7. Галкин, С.Л., Сажнев, Н.П., Соколовский, Л.В., Сажнев, Н.Н. Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика. – Мн.: Стринко, 2006. – 446 с.
8. Сажнев, Н.П., Соколовский, Л.В., Журавлев, И.С., Ткачик, П.П. Как построить индивидуальный дом из ячеистого бетона. Практическое пособие. – Мн.: Стринко, 2003. – 156 с.
9. Нгуен Тхань Киен. Огнестойкость и огнесохранность сжатых конструкций с применением автоклавных и азрированных ячеистых бетонов / Автореферат на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Минск, 2016. – 20 с.
10. ТКП 45-5.03-307-2017 «Изделия сборные бетонные и железобетонные. Основные требования к изготовлению».
11. СТБ 1570-2005 «Бетоны ячеистые. Технические условия».
12. СТБ 1117-98 «Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия».
13. СТБ EN 771-4-2014 «Требования к изделиям для каменной кладки. Часть 4. Изделия из ячеистого бетона автоклавного твердения».
14. СТБ 1332-2002 «Блоки лотковые и перемычки из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия».
15. СТБ 1330-2002 «Ступени лестничные из автоклавного ячеистого бетона. Технические условия».
16. СТБ 1724-2007 «Утеплитель дробленый из ячеистых бетонов. Технические условия».
17. СТБ 1034-96 «Плиты теплоизоляционные из ячеистых бетонов».
18. СТБ 1989-2009 «Плиты перекрытий и покрытий, панели для внутренних стен и перегородок из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия».
19. СТБ 1185-99 «Панели стеновые наружные бетонные и железобетонные для зданий и сооружений. Технические условия».
20. ТКП EN 1992-1-1-2009 (02250) Еврокод 2 «Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий».
21. СТБ EN 12602-2011 «Изделия железобетонные заводского изготовления из автоклавного ячеистого бетона».
22. Серия Б2.000-3.07 «Узлы и детали сопряжений конструктивных элементов зданий с комплексным применением ячеистого бетона. Выпуск 0. Материалы для проектирования». – Мн.: РУП «Институт БелНИИС», 2007.
23. Серия Б2.030-13.10 «Узлы и детали поэтажно опертых стен жилых и общественных зданий из эффективных мелкоштучных стеновых материалов. Выпуск 1. Рабочие чертежи». – Мн.: РУП «Институт БелНИИС», 2007.
24. «Рекомендации по проектированию поэтажно опертых стен и перегородок из эффективных мелкоштучных стеновых материалов». – Мн.: РУП «Институт БелНИИС», 2011. — 50 с.
25. Справочник фирмы «HEBEL» по жилищному строительству. – Мн.: Стринко, 1996. – С. 37–49.
26. Справочник по производству и применению материалов «YTONG». – Мн.: Стринко, 1997. – С. 74–81.
27. Росс Хартмут, Шталь Фридеманн. Практическое руководство. Штукатурка. Материалы, техника производства работ, предотвращение дефектов. – С-Пб., 2006. – С. 125–129.
28. Сажнев, Н.П. Опыт производства и применения ячеистобетонных изделий автоклавного твердения в Республике Беларусь // Материалы 7-й международной научно-практической конференции. – Мн.: Стринко, 2012. – С. 5–16.

## СЕКРЕТ НАШЕГО УСПЕХА – В УСПЕХЕ НАШИХ КЛИЕНТОВ

# masa

Milestone to your success.

По многочисленным свидетельствам участников конференций «Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения», которые в статусе международных проводятся в 10-й раз, Беларусь является примером для стран СНГ в стратегии и тактике технического перевооружения, технологии производства, качестве продукции и источником колоссального опыта, основанного на самом прочном фундаменте – знании. Технологические находки и та степень открытости, с которой делятся ими белорусские специалисты, по общему мнению, конструктивно влияют на выбор наиболее эффективных ориентиров развития.

Компания MASA (Германия), за свою более чем 100-летнюю историю превратившаяся из машиностроительного предприятия средних размеров в крупного международного поставщика оборудования для производства строительных материалов, является одним из главных партнеров, поддерживающих проведение профессиональных форумов в Беларуси, причем практически с самого начала.



– Видимо, все-таки с 4-й по счету конференции, – уточняет **глава Представительства MASA GmbH в России Андрей ИВАНОВ**. – Белорусские ученые, проектировщики, работники предприятий по производству строительных материалов и практики строительного дела сыграли важную роль в становлении и развитии газобетонной отрасли. MASA с гордостью может заявить, что со многими из этих специалистов ее связывают годы плодотворной и интересной работы.

И во многом благодаря этому в настоящее время газобетон на территории бывшего СССР по праву занимает одно из ведущих мест среди современных эффективных материалов для любых типов зданий, способных удовлетворить самых взыскательных потребителей.

**– Андрей Константинович, на ваш взгляд, сочетание каких факторов привлекло компанию MASA в Беларусь? Что способствовало успеху на белорусском рынке?**

– Еще со времен СССР Беларусь была центром газобетонной промышленности, поскольку обладала не только сильной научной и теоретической базами, но и динамично развивающимися многопрофильными производствами, не испытывающими недостатка в сырьевых материалах. Опыт внедрения технологических инноваций в газобетонной отрасли перенимался другими союзными странами. Республика Беларусь и в настоящее время прочно удерживает позиции одного из мировых лидеров по выпуску газобетона на душу населения. Изначально именно эта совокупность факторов и привлекла немецкую компанию MASA на белорусский рынок.

**– Вклад MASA в процесс развития газобетонной отрасли в Беларуси серьезный, если учесть, что в стране всего 12 действующих предприятий данного профиля.**

– На сегодняшний день в Республике Беларусь работают 7 полнокомплектных линий MASA по производству изделий из автоклавного ячеистого бетона (не считая камнеформо-

вочных установок и силикатных прессов): 2 линии в ЗАО «Могилевский КСИ», по 1 линии в ОАО «Красносельскстройматериалы» и его Филиале № 7 «Сморгоньсиликатобетон», Филиале № 3 «Минский КСИ» ОАО «Белорусский цементный завод», СЗАО «КварцМел-Пром», ОАО «Березовский КСИ». К этому следует добавить проведенную в свое время модернизацию существующего завода ОАО «Забудова» в п. Чисть.

**– Активная модернизация газобетонной отрасли, появление высокопроизводительных линий в нашей стране происходили в первое десятилетие нового века. Но в обозримой перспективе строительство новых заводов едва ли возможно.**

– Тесное сотрудничество тем не менее продолжается и после возведения заводов и их успешной приемки в эксплуатацию и переросло в многолетнее партнерство. MASA всегда рада принимать у себя в гостях белорусских коллег, немецкие специалисты, в свою очередь, регулярно посещают Беларусь. Происходит не только интенсивный обмен данными научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, но и постоянное укрепление сложившихся дружественных отношений.





**– Белорусский рынок стал плацдармом для внедрения технологий и оборудования компании и их дальнейшего продвижения. Определенных усилий с обеих сторон, надо особо подчеркнуть, потребовал уникальный опыт объединения белорусской ударной технологии производства ячеистого бетона с современным немецким резательным оборудованием, рассчитанным на литевой метод.**

– Одним из основополагающих принципов компании является индивидуальный подход к каждому клиенту. Разработка технических решений всегда осуществляется в непрерывном диалоге со специалистами заказчиков, с учетом местных условий, особенностей отдельно

взятых заводов и актуальных требований рынка строительных материалов.

В 2000-е годы, получив задания на создание и модернизацию нескольких белорусских производств и работая совместно с авторитетными белорусскими специалистами, в частности с г-ном Сажневым Н.П., MASA пришла к выводу, что, исходя в том числе из особенностей местной сырьевой базы, наиболее целесообразно модернизировать традиционно применяемую в Беларуси ударную технологию, совместив ее с новейшим немецким оборудованием, обычно используемым в литевой технологии.

Так, специалисты компании совместно с технологами ОАО «Забудова» и ОАО «Сморгонь-силикатобетон» разработали новую конструк-





цию ударной площадки грузоподъемностью 15 т, отличающуюся максимальной энергией удара при минимальной высоте и крайне низким уровнем шума.

Сотрудничество немецких и белорусских коллег дало высокоэффективные результаты, в частности ЗАО «Могилевский КСИ» – один из крупнейших производителей автоклавного газобетона и силикатного кирпича на территории СНГ и стран Балтии, отмечающий в 2018 г. свое 50-летие, успешно эксплуатирует две линии MASA, выпуская широкую номенклатуру газобетонных изделий различных размеров и конфигурации. Благодаря автоматизированному управлению и новому струнному резательному комплексу переход с одного формата изделия на другой занимает всего несколько минут, что позволяет заводу выполнять нужные заказы в короткие сроки. Кроме того, на «Могилевском КСИ» успешно функционируют два гидравлических пресса MASA для производства силикатных изделий.

Впоследствии совместный опыт белорусских и немецких коллег переняли несколько крупных российских заводов, и сейчас работающих по ударной технологии. Однако заказчикам компании всегда предоставлялась возможность выбора, и литьевая технология, в свою очередь, получила в России не менее широкое распространение.



В настоящее время на территории бывшего СССР работают несколько десятков линий по выпуску изделий из автоклавного газобетона, поставленных и смонтированных компанией MASA.

**– Привлекательной особенностью концепции фирмы MASA является возможность поэтапного наращивания производительности линий, в том числе за счет расширения отдельных узлов.**

– В линейке газобетонного оборудования MASA предлагаются установки «ЕСО» и высокопроизводительные версии, предусмотрены также варианты вертикального и горизонтального заполнения автоклавов.

В концепцию установок изначально заложена возможность наращивания производственной мощности в несколько этапов, при этом производительность шаровой мельницы для мокрого помола песка, также как и производительность котельной, зависят от конечной желаемой производительности всей установки и должны быть определены в начале проекта. Для увеличения объемов производства необходимо увеличить количество форм, запарочных днищ, колесных фрикционных приводов, запарочных тележек и устройств их подачи, расширить рельсы в зонах смешивания, ферментации, резки и оборота запарочных те-

лежек, установить дополнительные автоклавы и внедрить некоторые компоненты в управление загрузкой и разгрузкой автоклавов.

Мы также разрабатываем варианты модернизации существующих заводов, что дает возможность существенно расширить ассортимент продукции и повысить эффективность производства. Например, предлагается дополнительное оснащение газобетонного завода зоной армирования для выпуска крупноформатных армированных элементов: стеновых панелей, оконных и дверных перемычек, плит перекрытия, ограждающих конструкций и фигурных элементов, которые обеспечивают высокую скорость кладки, сокращение сроков строительства зданий и более низкую себестоимость их возведения. Таким образом, интеграция зоны армирования предоставляет отличную возможность расширения производственной программы, не требующей значительных финансовых затрат. Если возможность данного расширения заложена в первоначальную планировку завода, монтаж большей части оборудования для армирования выполняется без остановки текущего производства, что позволяет сэкономить время и деньги при осуществлении проекта.

MASA предлагает линии по производству ячеистобетонных теплоизоляционных изделий с пониженной плотностью по технологии LithoPore®, которые становятся особенно актуальными в свете современной тенденции уже-





сточения требований к теплотехнике зданий. Экологически безопасные панели пониженной плотности с отличными механическими свойствами применяются для изоляции внутренних и наружных стен старых и новых зданий. В январе 2015 г. на «LithoPore» был получен «Общий допуск строительного надзора» в Германском институте строительной техники (DIBt). Пилотная установка уже функционирует на предприятии «Fixit AG».

Немецкие специалисты MASA постоянно совершенствуют отдельные узлы установок, стремясь к рациональному использованию энерго- и материальных ресурсов, сокращению трудозатрат как на производственных линиях, так и при строительстве и эксплуатации зданий. В частности, предлагается технология измельчения запаренного нижнего подрезного слоя и отбракованных газобетонных изделий, получивших повреждения в ходе отгрузки для их возвращения в технологический процесс. При текущем производстве продукции возможен возврат измельченного газобетонного материала в технологический процесс через смесительную установку.

Еще одним шагом по оптимизации газобетонного производства является сбор и обратная подача конденсата, образующегося во время запаривания, в производство. При помощи специальных теплообменных устройств энергия, получаемая из конденсата, используется для обогрева различных зон производства. Возможно сокращение расходов, например, на подготовку теплой технической воды для отопительных систем. Тепловая энергия конденсата используется для прогрева массивов в зоне выдержки перед автоклавами, что позволяет сократить время запаривания в автоклавах и экономит энергопотребление. Конденсат, охлажденный таким способом, снова подается в зону помола песка. Максимальное количество конденсата, которое возможно использовать, рассчитывается индивидуально, помимо прочего, следует учитывать щелочность конденсата при контроле процесса выдержки и созревания массивов.

Продолжая работу по оптимизации использования сырьевых ресурсов, на крупнейшей международной выставке BAUMA 2016 в Мюнхене MASA представила новую концепцию сокращения количества цемента в рецепте. Для внедрения технологии в существующее производство требуется переоборудование смесительной башни и внесение изменений в управление установкой.

Недавно специалисты MASA усовершенствовали конструкцию станции боковой резки и профилировки, что позволило сократить коли-

чество сколов при использовании наклонных ножевых пластин, обеспечило быстрый переход на другой вид изделия. Благодаря автоматическому переключению функций «гладкий рез» - «профилирование» появилась возможность производства армированных изделий и стандартных блоков в одном массиве.

Выпущена также новая версия маслостанции для смазки форм, основные преимущества которой заключаются в отсутствии масляного тумана и значительном сокращении расхода масла. Маслостанция оснащена тремя вращающимися щетками, которые равномерно распределяют масло по форме. Скорость вращения щеток определяет количество наносимого масла. Описанные установки уже успешно эксплуатируются заказчиками MASA по всему миру.

### – Андрей Константинович, что собой представляет MASA group сегодня?

– За свою более чем столетнюю историю MASA из машиностроительного предприятия средних размеров превратилась в крупного международного поставщика оборудования для производства строительных материалов. Сегодня MASA group представлена 2 конструкторскими и производственными центрами в Германии (г. Андернах и г. Порта Вестфалика) и филиалами в России, США, ОАЭ, Индии и Китае. Общая численность сотрудников компании около 500 человек.

В 2014 г. промышленный инвестиционный фонд «CGS III» стал участвовать в группе компаний MASA с преобладанием капитала, что обеспечило дальнейшее последовательное развитие MASA group в соответствии с четко ориентированной промышленной стратегией. Годовой оборот компании уверенно растет и по итогам 2017 г. составил более 40 млн евро.

В 2018 г. широко известный университет Санкт-Галлена (Швейцария) включил компанию MASA среди других немецких предприятий в свой список лидеров мирового рынка.

### Masa-Москва

Россия, 123557, Москва,  
Средний Тишинский пер.,  
дом 28, офис 220

Телефон: (495) 232 51 27  
Факс: (495) 232 51 28

Интернет: [www.masa-group.com](http://www.masa-group.com)  
E-mail: [info@masa.ru](mailto:info@masa.ru)

# СОСТОЯНИЕ РЫНКА БЛОКОВ ИЗ ЯЧЕЙСТОГО БЕТОНА В БЕЛАРУСИ



**Подволоцкий А.В.**  
 начальник международного информационно-аналитического центра строительного комплекса (г. Минск, Беларусь)

водства пришлось на 2012 и 2014 годы и составили 3,2 млн м<sup>3</sup> (рис. 1).

В настоящее время республиканские мощности по выпуску блоков из ячеистого бетона представлены 12 предприятиями с суммарной годовой производственной мощностью (по состоянию на 01.01.2018 года) в 3,5 млн м<sup>3</sup>. Следует отметить, что указанный показатель ранее достигал 4,1–4,3 млн м<sup>3</sup>.

Республиканская промышленность по выпуску блоков из ячеистого бетона за последние годы претерпела коренную технологическую и структурную модернизацию.

В 1990-е годы наблюдалось двукратное сокращение объемов производства блоков из ячеистого бетона, однако, начиная с 2000 года, на фоне существенного роста объемов жилищного, промышленного и гражданского строительства начался постоянный прирост объемов выпуска указанного строительного материала, сопровождающийся модернизацией действующих производств и вводом в эксплуатацию новых современных технологических линий. Максимальные объемы произ-

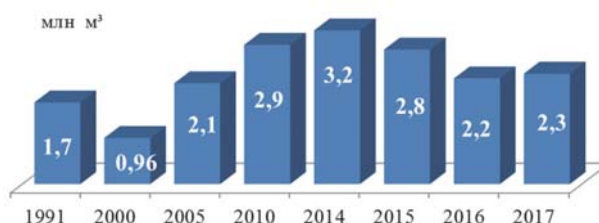


Рис. 1. Динамика объемов производства блоков из ячеистого бетона

На фоне неустойчивой инвестиционной ситуации наблюдается сокращение емкости как внутреннего, так и внешних рынков, что объективно приводит к росту конкуренции на региональных рынках, снижению объемов выпуска и отгрузки указанного стройматериала отечественными производителями (рис. 2).

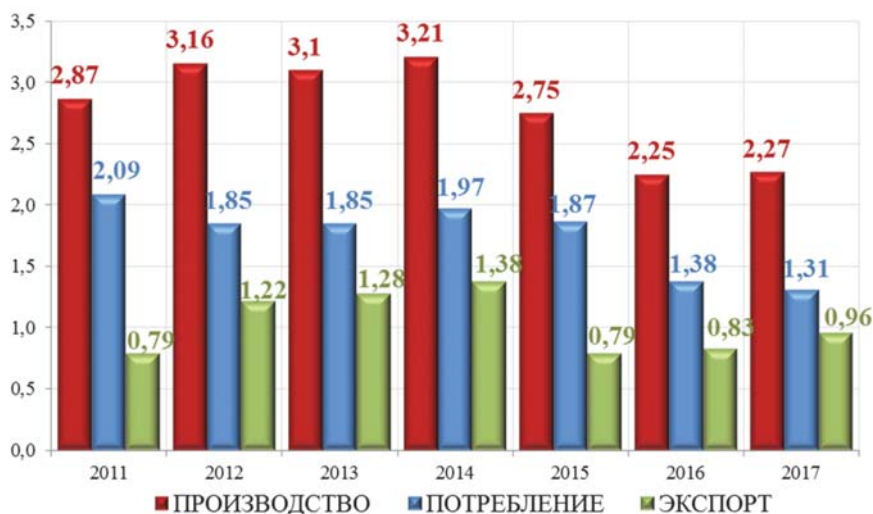


Рис. 2. Динамика объемов производства, потребления и экспорта блоков из ячеистого бетона, млн м<sup>3</sup>



Рис. 3. Индексы темпов роста СМР, ввода жилья в эксплуатацию и потребления блоков из ячеистого бетона, %

Так, в 2017 году республиканские объемы производства и экспорта блоков из ячеистого бетона сократились практически на 30% от ранее достигнутых максимальных показателей 2014 года, а спрос на внутреннем рынке страны уменьшился на 37% к объемам 2011 года.

Сложившаяся ситуация обусловлена отрицательной динамикой основных макроэкономических показателей, определяющих

загрузку республиканского строительного комплекса, что привело к сокращению емкости рынка практически по всей группе базовых стройматериалов (рис. 3).

Помесячная динамика объемов производства, потребления, экспорта блоков из ячеистого бетона в I квартале 2018 года по сравнению с показателями 2017 года представлена на рис. 4.

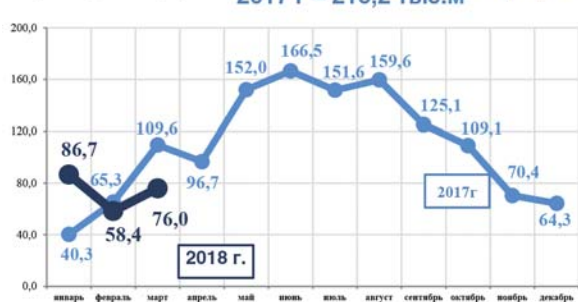
**ПРОИЗВОДСТВО (январь-март)**  
2018 г. – 441,4 тыс.м<sup>3</sup> +30,0% прирост  
2017 г – 339,6 тыс.м<sup>3</sup>



**ЭКСПОРТ (январь-март)**  
2018 г. – 176,7 тыс.м<sup>3</sup> +32,2% прирост  
2017 г – 133,7 тыс.м<sup>3</sup>



**ПОТРЕБЛЕНИЕ (январь-март)**  
2018 г. – 220,3 тыс.м<sup>3</sup> +2,4% прирост  
2017 г – 215,2 тыс.м<sup>3</sup>



**СКЛАД (март)**  
2018 г. – 292,1 тыс.м<sup>3</sup> +28,9% прирост  
2017 г – 226,6 тыс.м<sup>3</sup>



Рис. 4. Динамика объемов производства, потребления, экспорта блоков из ячеистого бетона в январе–марте 2018 года по сравнению с 2017 годом

Положительная динамика производства блоков из ячеистого бетона в I квартале 2018 года частично обусловлена ростом их экспортных поставок (прежде всего в Украину), однако в большей степени – ростом складских запасов готовой продукции. Минимальный рост объемов потребления внутренним рынком объясняется значительной отгрузкой республиканскими заводами в январе 2018 года, в последующие месяцы характерна отрицательная динамика. Загрузка производственных мощностей составила 53%.

Таким образом, на внутреннем рынке наблюдается существенный профицит республиканских мощностей по выпуску блоков из ячеистого бетона, что приводит к усилению конкурентной борьбы, в т.ч. с нарушением правил добросовестной конкуренции на рынке. Рост экспортных поставок затруднен высокой себестоимостью производства, а также существенными затратами по доставке единицы продукции в экспортный регион.

Отдельного внимания заслуживает проблематика потребления блоков из ячеистого бетона в жилищном строительстве и индивидуальной застройке (как основном сегменте рынка сбыта).

За последнее десятилетие динамика ввода жилья в эксплуатацию носит неустойчивый характер (рис. 5). Максимальный объем ввода жилья пришелся на 2010 год и составил 6,6 млн м<sup>2</sup>, минимальные значения в 2017 году – 3,8 млн м<sup>2</sup>.

В рассматриваемом периоде объемы индивидуального строительства демонстрируют относительную устойчивость, средний показатель составляет 1,8 млн м<sup>2</sup> (без учета максимально достигнутого показателя в 2015 году – 2,4 млн м<sup>2</sup>).

*СПРАВОЧНО: В 2015 году существенный рост индивидуального жилищного строительства обусловлен массовой регистрацией и вводом в эксплуатацию частных жилых домов, одной из причин которых стало принятие постановления Совета Министров Республики Беларусь от 12.06.2014 № 571. Документом определено: если жилой дом не введен в эксплуатацию, то к нему применяются тарифы, обеспечивающие полное возмещение затрат жилищно-коммунальных служб, которые кратно выше субсидируемых тарифов для населения.*

Удельный вес индивидуального строительства в республиканских объемах ввода жилья в эксплуатацию вырос с 28% в 2010 году до 47% в 2017 году, показатели 2017 года сохраняются и в I квартале 2018 года.

Анализ динамики и структуры ввода жилья (по материалам стен), усредненных норм расхода материала на 1 м<sup>2</sup> жилой площади всех конструктивных систем показал, что не менее 65% емкости республиканского строительного комплекса в блоках из ячеистого бетона приходится именно на индивидуальную застройку.

### Техническое перевооружение и модернизация предприятий по производству ячеистого бетона с внедрением эффективного оборудования и технологий

За последние годы предприятиями Минстройархитектуры проведена комплексная модернизация действующих производств, некоторые из которых отражены ниже.

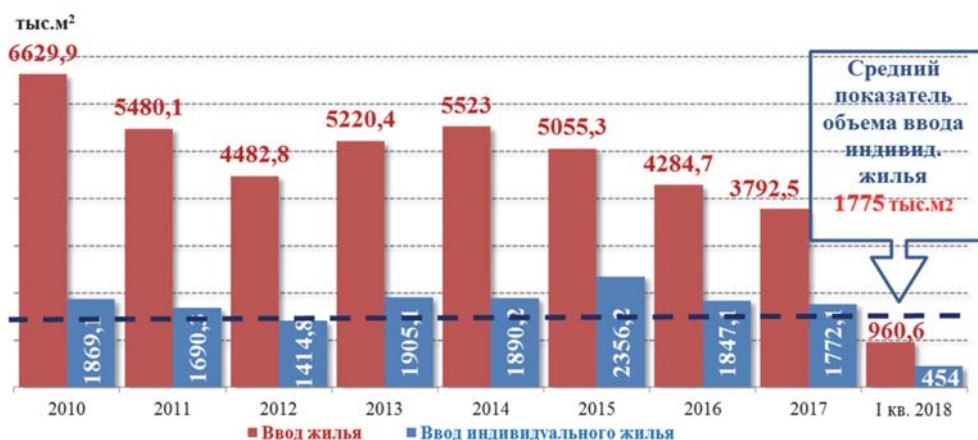


Рис. 5. Динамика ввода жилья в эксплуатацию в 2010–2018 гг.

### Филиал № 5 Гродненский комбинат строительных материалов ОАО «Красносельскстройматериалы»:

1. Проведена модернизация технологической линии «Верхан», что позволило увеличить объем производства блоков из ячеистого бетона со 126 тыс. м<sup>3</sup> в 2011 году до 190 тыс. м<sup>3</sup> в 2017 году.

2. Освоен выпуск изделий для каменной кладки из ячеистого бетона объемным весом 300 и 350 кг/м<sup>3</sup>.

3. Освоен выпуск блоков из ячеистого бетона с пазогребневой системой соединения и захватными карманами.

4. Введен в эксплуатацию упаковочный модуль фирмы «Лакхенмайер», что позволило значительно повысить качественные характеристики при транспортировке и сохранности продукции.

### Филиал № 7 Сморгоньсиликатобетон ОАО «Красносельскстройматериалы»:

1. На технологической линии «Маза-Хенке» в 2017 году установлено оборудование Power Flex TL для упаковки блоков в пленку стретч-худ, производительностью 35 поддонов в час.

2. Разработана и введена технология по использованию отходов производства из ячеистого бетона в качестве вторичного сырья для повторного использования в производстве изделий из ячеистого бетона.

### Филиал № 3 Минский комбинат силикатных изделий ОАО «Белорусский цементный завод»:

1. В 2009 году введен в эксплуатацию цех по производству изделий из ячеистого бетона на 1-й и 2-й категории – внедрена высокотехнологичная автоматизированная линия производства, предусматривающая объединение лучших отечественных достижений в области формования ячеистобетонной смеси на основе ударной технологии и достижений в области качества немецкой фирмы «Маза-Хенке».

2. За время работы линия модернизирована: установлены дополнительная резательная тележка для увеличения объемов производства, дополнительно два барабана на второй резательной машине с целью увеличения объема выпуска блоков размером по толщине 75–120 мм. Освоен выпуск блоков из ячеистого бетона марок по плотности 400–700 кг/м<sup>3</sup> классов по прочности 1,5–3,5 МПа, что подтверждено сертификатами соответствия.

3. Из последних достижений – выпуск на существующей линии, при помощи разработанных специалистами предприятия дополнительных приспособлений, перемычки бруско-

вой из ячеистого бетона плотностью 700 кг/м<sup>3</sup> и прочностью на сжатие 3,5 МПа различных типоразмеров, а также блоков из ячеистого бетона марок D350 B1,5 и D500 B3,5 без введения химических добавок, только за счет подбора составов бетона (табл. 1).

Таблица 1

#### Характеристики выпускаемых изделий

Наименование	Коэффициент теплопроводности, В/(м·К)	Вес 1 м <sup>3</sup> , кг	Класс бетона по прочности, МПа
3,5-500-35-1	0,12	500	B3,5
1,5-350-25-1	0,14	350	B1,5

В последнее время ужесточились требования по тепловой защите зданий, изменился подход к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций.

В связи с этим появилась необходимость производить изделия из ячеистого бетона с более низкой средней плотностью (D350) при сохранении прежнего класса бетона по прочности на сжатие.

Использование такой продукции позволяет значительно снизить расходы на утепление.

Благодаря низкой плотности и теплопроводности при толщине стены 400 мм блоки D350 не нуждаются в дополнительном утеплении и обеспечивают требуемое сопротивление теплопередаче наружной стены 3,2 м<sup>2</sup>·°C/Вт.

#### Преимущества блоков D350 позволяют:

- снизить себестоимость продукции;
- уменьшить расход ячеистого бетона на квадратный метр площади дома;
- снизить энергетические затраты;
- снизить общий вес постройки, что дает дополнительную экономию на конструктивных элементах (фундаментах) и стеновых материалах, упрощая проектные и прочие строительные работы;
- облегчить доставку и погрузочно-разгрузочные работы;
- сократить затраты на строительные работы.

Снижение плотности выгодно потребителю: при равной толщине стена из менее плотного камня обеспечивает большую теплозащиту, а при равных теплозащитных свойствах стена получается тоньше, т.е. дешевле.

Используя блоки D350 для строительства жилых помещений можно значительно понизить цены на отопление, следовательно, такое жилье и стоить будет дешевле.

# ПРОИЗВОДСТВО АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА В РОССИИ И ВЫЗОВЫ ЕГО ШИРОКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ



**Гринфельд Г.И.**,  
 исполнительный директор  
 Национальной ассоциации  
 автоклавного газобетона  
 (НААГ),  
 (г. Санкт-Петербург, Россия)



**Вишневский А.А.**,  
 ООО ПСО «Теплит»,  
 исполнительный директор  
 завода  
 в г. Березовский (Россия)

**Рынок стеновых материалов.** Объем рынка стеновых штучных материалов в России снижается третий год подряд. Общий выпуск керамических, силикатных и бетонных (включая ячеистобетонные) кирпича, камней и блоков по данным ФСГС сократился более чем на 20%. При этом суммарное снижение объемов выпуска силикатных изделий приблизилось к 50%, керамических – к 35%, ячеистобетонных – осталось в пределах 10–15%. Доля из-

делий из автоклавного газобетона в общем объеме выпуска штучных материалов увеличилась с почти 40 до почти 50%.

Ниже приводятся данные по производству АГБ в России, полученные в ходе ежегодного исследования текущего производства, проводимого силами НААГ.

**Мощности по производству АГБ.** В настоящий момент в России производственными мощностями по выпуску АГБ располагают 76 предприятий. На десяти из них выпуск АГБ в 2017 г. не осуществлялся. Общая установленная мощность заводов составляет 18,75 млн м<sup>3</sup>, из них 1,8 млн м<sup>3</sup> – остановленные мощности.

**Выпуск АГБ.** Общий выпуск АГБ в 2017 году составил 11 590 000 м<sup>3</sup>. Объемы и динамика производства за последние 6 лет представлены в табл. 1.

**Плотность выпускаемого АГБ.** В 2017 г. изделия из АГБ выпускались в диапазоне плотностей 200–800 кг/м<sup>3</sup> (табл. 2). Наиболее массовой маркой, как и прежде, остается D500 – на ее долю приходится 67,7% от общего выпуска АГБ. В сравнении с предыдущим годом распределение плотностей практически не изменилось: доля марки D500 чуть повысилась, а марки D600 – незначительно снизилась. Остальные показатели остались на уровне прошлого года.

Выпуск АГБ в 2012–2017 гг.

Таблица 1

Показатель	Период					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Выпуск АГБ, тыс. м <sup>3</sup>	9 920	11 292	12 899	13 025	11 849	11 590
Прирост в сравнении с предыдущим периодом, %		13,8	14,2	1,0	–9,0	–2,2

Таблица 2

**Доля определенных марок по средней плотности в общем выпуске АГБ**

Период	Доля от общего объема выпущенного АГБ, %						
	D200	D300	D400	D500	D600	D700	D800
2013	0,03	0,49	8,81	63,68	25,79	1,12	0,09
2014	–	0,45	8,07	67,08	23,14	1,21	0,05
2015	0,02	0,35	10,14	65,80	22,33	1,35	0,01
2016	0,01	0,40	10,42	66,27	21,90	0,99	0,00
2017	0,01	0,40	10,00	67,70	20,83	1,04	0,02

В целом же по стране средняя плотность газобетона еще незначительно снизилась и составила 512,1 кг/м<sup>3</sup>. При этом следует констатировать замедление темпов снижения плотности. Если в предыдущие 5 лет данный показатель снижался на 1,5–2 кг/м<sup>3</sup> в год, то в 2017 г. усредненная плотность всей выпущенной продукции снизилась лишь на 0,5 кг/м<sup>3</sup>.

**Газообразователи, используемые для производства АГБ**

В качестве газообразователя российские производители АГБ традиционно используют алюминиевую пасту или пудру. По данным за февраль-март 2018 г. большая часть предприятий в качестве газообразователя выбрала алюминиевые пасты – 66% от всего выпущенного газобетона произведено с их использованием (табл. 3). В сравнении с прошлыми годами распространение паст увеличивается. Это связано с большей технологичностью данного продукта (отсутствие необходимости использования ПАВ при приготовлении суспензии) и

Таблица 3  
**Данные о выпуске АГБ на различных газообразователях в 2012, 2013 и 2017 гг.**

Тип газообразователя	Доля АГБ, выпущенного на данном газообразователе, %		
	2012	2013	2017
Алюминиевая пудра	37	46	34
Алюминиевая паста	63	54	66

тем, что при его использовании повышается безопасность производства. Кроме того, современные пасты стали обеспечивать требуемое газообразование при выпуске широкой номенклатуры АГБ, в том числе изделий с пониженной плотностью.

Как следует из данных, представленных на рис. 1 все марки АГБ изготавливаются главным образом на основе алюминиевых паст. Доля пудр при производстве пониженных плотностей достаточно велика. В то же время подавляющий объем АГБ с плотностью 600 кг/м<sup>3</sup> изготовлен на алюминиевой пасте.

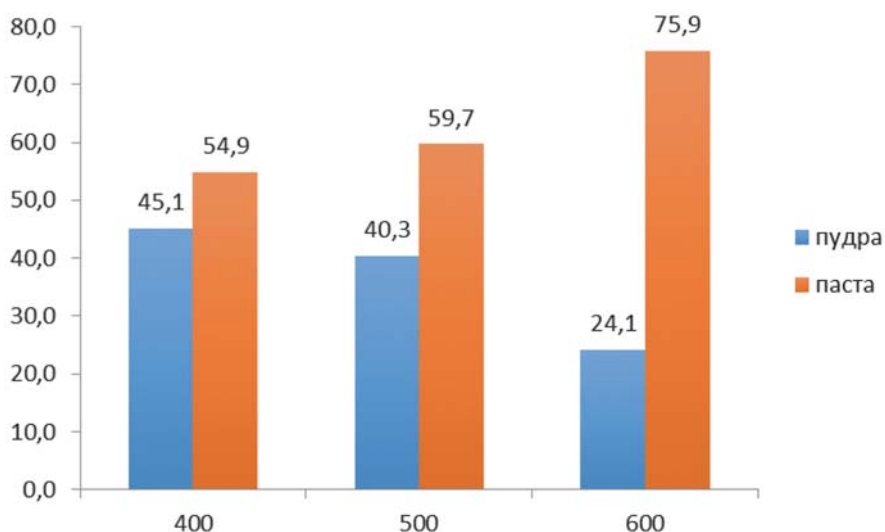


Рис. 1. Использование газообразователей (в %) при производстве различных марок АГБ

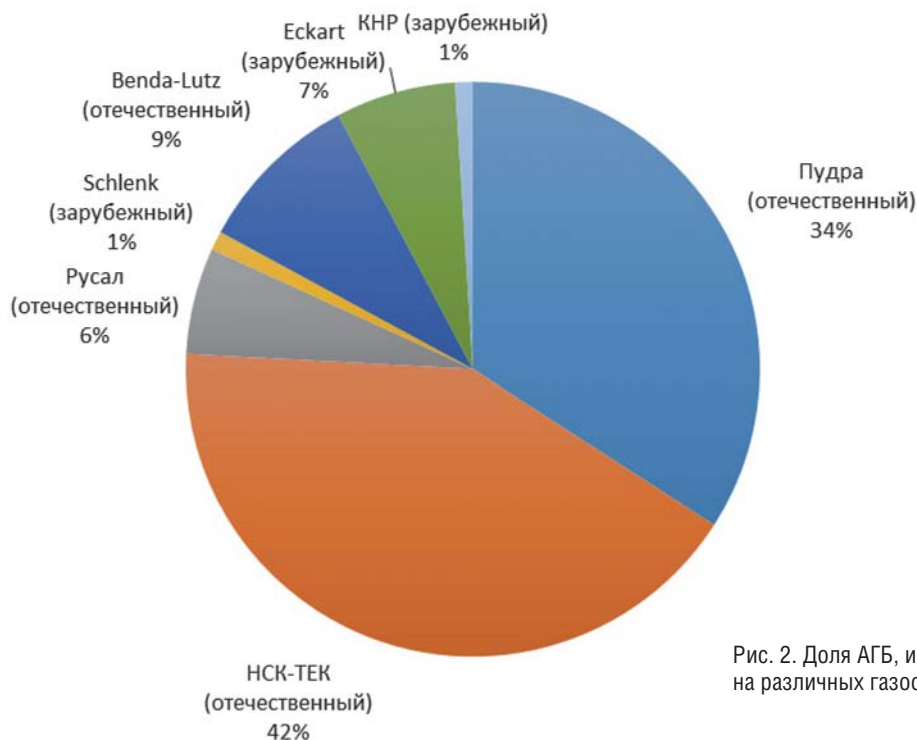


Рис. 2. Доля АГБ, изготовленных на различных газообразователях

Основными поставщиками газообразователей на российский рынок являются ООО «НСК-ТЕК», заводы ОК «РУСАЛ», а также ряд иностранных производителей. Согласно данным, представленным на рис. 2, основной объем газобетона (42,1%) в отчетном периоде выпущен на продуктах компании «НСК-ТЕК». С использованием алюминиевых пудр произведено 34,5% из общего объема АГБ. Доля газобетона, изготовленного на импортных газообразователях, не превышает 10%.

ского кирпича – 6,4%. Ячеистый бетон остается основным стеновым материалом на строительном рынке РФ (рис. 3).

**Автоклавный газобетон на рынке стеновых материалов.** Приведенные данные по выпуску АГБ в 2017 году принципиально согласуются с данными официальной статистики. Согласно информации ФСГС, производство АГБ в 2017 г. составило 11,7 млн м<sup>3</sup>, что на 4,3% ниже показателя 2016 года (табл. 4).

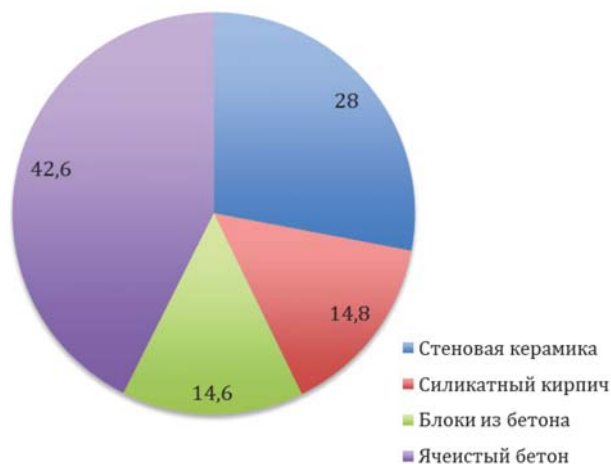


Рис. 3. Рынок стеновых материалов в 2017 году (данные ФСГС)

Для сравнения темпы снижения производства силикатного кирпича – 6,9%, керамиче-

Выпуск мелкоштучных стеновых материалов в 2016–2017 гг.

Таблица 4

Материал	Выпуск, млн усл. кирп.		2017/2016, %
	2016	2017	
Стеновая керамика	5 996	5 613	93,6
Силикатный кирпич	3 195	2 974	93,1
Блоки из бетона	3 195	2 930	91,7
Ячеистый бетон	8 922	8 535	95,7
Всего:	21 308	20 052	94,1



**Обратная сторона массовости.** Как следует из представленных данных, автоклавный газобетон является самым массовым стеновым материалом России. Его доля на рынке материалов для каменной кладки продолжает расти. И именно в период расцвета газобетона проявляются и становятся определяющими при принятии решений факторы, которые раньше были в тени из-за дефицитности рынка строительных материалов и существенно меньшей стоимости газобетона в сравнении с конкурентными материалами. Широчайшее применение газобетона позволяет не только накапливать положительный опыт, но и замечать проблемные аспекты.

В последние годы объемы строительства перестали расти, загрузка производственных мощностей основных строительных и теплоизоляционных материалов снизилась. Это обострило конкуренцию между группами товаропроизводителей, привело к большей разборчивости и придирчивости потребителей. Простота и обилие выбора технических решений подсветили те свойства газобетона и конструкций из него, на которые еще несколько лет назад можно было не обращать внимания. Конкуренция между различными материалами и типами конструктивных решений идет по разным направлениям.

Ниже структурируем существующие вызовы и дадим предложения по снижению рисков для отрасли.

## **Вызовы рынку автоклавного газобетона**

**Объективные проблемы применения автоклавного газобетона в существующих конструктивных решениях.** Блоки из автоклавного газобетона применяются в трех основных видах конструкций:

- наружные ограждающие конструкции отапливаемых помещений;
- кладка несущих стен;
- перегородки.

Функции могут пересекаться в пределах одной конструкции. Основные проблемные аспекты разложим по функциям, выполняемым кладкой.

### **1. Наружные ограждения**

Основным нормируемым параметром наружных ограждающих конструкций является приведенное сопротивление теплопередаче. Сопротивление теплопередаче стены зависит от теплопроводности газобетона (теплопроводность сухого материала, влажность в условиях эксплуатации), от влияния теплопроводных включений (кладочные швы, железобетонные включения в кладку, сопряжение со

смежными конструкциями).

При этом конкурентами оспариваются: коэффициент теплопроводности газобетона в сухом состоянии, влажность в условиях эксплуатации, коэффициент теплопроводности в состоянии эксплуатационной влажности, принимаемые по ГОСТ 31359. Возобновлены действия, направленные на снижение энергопотребления зданиями, в т.ч. путем снижения трансмиссионных теплопотерь через оболочку. Предлагается повысить требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций не менее чем на 40% за 5 лет.

1.1. Значения теплопроводности, приведенные в ГОСТ 31359 для газобетона в сухом состоянии, указаны в соответствии с табличными значениями EN 1745 «Каменная кладка и изделия для каменной кладки. Метод определения расчетных значений теплозащитных свойств», применяемыми при проектировании тепловой защиты в странах Евросоюза. В связи с особенностями нормирования плотности изделий в EN 771-4 «Изделия для каменной кладки. Изделия из автоклавного ячеистого бетона» эти значения могут быть применены для российского газобетона с некоторыми оговорками.

1.2. Влажность в условиях эксплуатации «А» и «Б», принимаемая соответственно 4% и 5%, введена в приложение А ГОСТ 31359 на основании результатов исследований, приведенных в нескольких журнальных статьях. Эти значения (с оговорками, увеличивающими диапазон влажностей для разных конструкций и регионов до границ 2,5–6%) могут быть защищены в дискуссии, однако для их подтверждения потребуются дополнительные лабораторные и натурные исследования и составление итогового обосновывающего отчета.

1.3. Постановление Правительства РФ от 20.05.2017 № 603 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 25 января 2011 г. № 18» требует повысить показатели энергетической эффективности (т.е. снизить энергопотребление на стадии эксплуатации) по отношению к базовому уровню (2009 года):

- для проектируемых и возводимых зданий, строений, сооружений с 1 января 2018 г. – не менее чем на 20%;
- с 1 января 2023 г. – не менее чем на 40%;
- с 1 января 2028 г. – не менее чем на 50%.

К этому постановлению разрабатываются инструктивные и методические материалы, в которые могут быть введены требования к отдельным элементам теплозащитной оболочки зданий.

## 2. Несущие стены

Несущая способность кладки зависит от расчетного сопротивления сжатию, ползучести и упругой характеристики. Расчетные значения всех трех величин приведены в СП 15.13330. На расчет несущей способности нет организованного системного давления, однако пересмотр существующих значений, введенных в СНиП «Каменные и армокаменные конструкции» еще в 1950-х гг., поднимается при проведении работ по исследованию современных кладок, проводимых по заказу Минстроя. Изменения здесь возможны как в сторону повышения некоторых расчетных значений, так и в сторону их снижения. Например, расчетное сопротивление сжатию кладки с тонкими швами может быть повышено на 10%, а упругая характеристика кладки  $\alpha$  понижена с 750 до 200–650, что снизит расчетную несущую способность внецентренно нагруженных стен.

## 3. Перегородки

Для внутренних ограждающих конструкций есть два основных показателя эксплуатационной пригодности – индекс изоляции воздушного шума и целостность (стойкость к образованию и раскрытию трещин). Достигнутые на объектах значения звукоизоляции и трещинообразование регулярно становятся предметами частных рекламаций.

Трещиностойкость кладки зависит от трех основных параметров: фактической влажностной усадки, деформаций конструкций основания и стойкости самого ячеистого бетона к растягивающим напряжениям.

Допустимые деформации оснований (например, прогиб плиты перекрытия, на которую опирается кладка перегородки, до разрешенной 1/300 пролета) без компенсирующих мероприятий могут приводить к трещинам в кладке, отличающимся от традиционного растрескивания кладки на растворных швах, составляющих 2–10% площади поверхности стены. Для полного однозначного ответа на вопрос о методах обеспечения целостности кладки (назначение армирования, скользящих подкладок, деформационных швов, жесткости гибких связей, повышение растяжимости и прочности при растяжении и сдвиге ячеистого бетона) необходим комплекс исследований.

### Надуманые проблемы, поднимаемые пользователями

Часть вопросов, касающихся применения газобетона в строительстве, мифологизированы и используются конкурентами для формирования негативного информационного фона.

Это в первую очередь:

- вопросы долговечности (морозостойкость кладки, карбонизация бетона);
- вопросы надежности механического крепежа (возможность закрепления анкеров для НВФ, гибких связей для облицовочной кладки, связей для закрепления к несущему каркасу);
- вопросы надежности и долговечности отделочных покрытий (применимость штукатурок, облицовки клинкерной плиткой и камнем).

### Предложения по нейтрализации вызовов

Предлагаем незамедлительно отреагировать на работу, направленную на повышение расчетных значений коэффициентов теплопроводности и эксплуатационной влажности газобетона.

Доработать методику определения расчетной теплопроводности газобетона в зависимости от конструкции стены, теплопроводности газобетона в сухом состоянии, сорбционной влажности газобетона и климата региона строительства.

Из ГОСТ 31359 исключить таблицу с требуемыми значениями теплопроводности и паропроницаемости, сведения о возможных значениях коэффициентов теплопроводности и паропроницаемости вынести в справочное приложение к ГОСТу.

Разработать рекомендации в развитие ГОСТ 27005 на правила контроля плотности, введя туда жесткие ограничения средней плотности сверху и снизу. Рекомендовать продукцию к применению с расчетными значениями теплопроводности с учетом фактически достигнутых значений средней плотности.

Включиться в работу по реализации ПП РФ № 603 от 20.05.2017, поддерживая коллективы, предлагающие оценивать энергетическую эффективность комплексно, без упора на требования к теплозащитной оболочке.

Инициировать комплекс НИР по производственным методам влияния на деформативность и прочность при растяжении автоклавного ячеистого бетона.

Инициировать НИР по конструктивным методам обеспечения целостности тонких ненесущих кладок.

# РЫНОК АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА УКРАИНЫ В 2017 Г. ПЕРСПЕКТИВЫ ОТРАСЛИ В 2018 Г.



**Сиротин О.В.,**  
исполнительный директор  
ВААГ – Всеукраинской  
ассоциации производителей  
автоклавного газобетона  
(г. Киев, Украина)

Автоклавный газобетон (ячеистый бетон автоклавного твердения) – современный энергоэффективный стеновой материал, объемы потребления которого за последние годы достигли существенных показателей на рынке стройматериалов Украины. Согласно данным Государственной службы статистики Украины [1], автоклавного газобетона в 2017 году было произведено 1193,3 млн шт. усл. кирпича, что в пересчете составляет 2,3 млн м<sup>3</sup>.

По итогам 2017 года основным потребителем газобетона в Украине был частный застройщик – примерно 80% от общего объема. На долю крупных строительных компаний, строящих многоквартирные жилые дома, промышленную и коммерческую недвижимость, объекты социальной инфраструктуры пришлось порядка 20%. Это связано в первую очередь с уменьшением темпов строительства жилья на первичном рынке многоквартирных домов в наиболее крупных и платежеспособных городах Украины – Киеве, Одессе, Львове, Днепре, Харькове и т.д.

Предприятия отрасли в широком ассортименте производят высокоточные стеновые и перегородочные газобетонные блоки (геометрия ±1–2 мм) шириной от 75 до 500 мм. Плотность ячеистого бетона составляет от 300

до 500 кг/м<sup>3</sup>, класс прочности на сжатие С2,0 и С2,5. Морозостойкость ячеистого бетона – 25–100 циклов в зависимости от производителя.

Данные по плотности выпускаемой продукции представлены на рис. 1. Следует отметить, что в 2016–2017 гг. увеличилась доля блоков из газобетона с маркой плотности D300. Основной объем производства и продаж в 2017 г. составили блоки с маркой средней плотности D500. Стеновые блоки плотностью D600 в 2016 г. в Украине практически не производились.

Доля пазогребневых стеновых блоков в прошлом году составила примерно 12%, остальная продукция производилась с гладкими торцевыми поверхностями. Стеновые блоки шириной 250–300 мм в 2017 г. занимали примерно 74% от общего объема, блоки шириной 350–500 мм – примерно 26%.

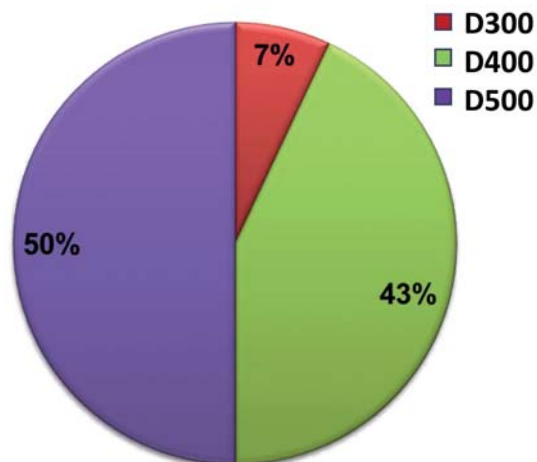


Рис. 1. Доли рынка блоков из газобетона по марке средней плотности в 2017 г.

Производятся также фасонные изделия – U-блоки с аналогичными характеристиками ячеистого бетона. Кроме этого, выпускаются теплоизоляционные плиты из ячеистого бетона плотностью 150 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность ( $\lambda_{10,dry}$ ) которых близка к теплопроводности фасадной минплиты и составляет 0,05 Вт/м·К.

Из армированного ячеистого бетона выпускаются брусковые перемычки, плиты перекрытия и покрытия. Все эти изделия обладают низким коэффициентом теплопроводности по сравнению с железобетонными аналогами.

На сегодняшний день в Украине расположены 15 предприятий разной мощности по производству автоклавного газобетона, из которых только 10 в 2017 году производили продукцию (табл. 1). Так объективно сложи-

лось, что к крупным предприятиям в Украине относятся компании с годовой мощностью производства и продаж свыше 1 млн м<sup>3</sup> продукции. Таких компаний две. Это ООО «Ориентир-Будэлемент» (г. Бровары, Киевская обл.), где на заводе с одной технологической линией производится свыше 1,3 млн м<sup>3</sup> в год и ООО «Аэрок» (г. Обухов и г. Березань, Киевская обл.), где на двух заводах и трех технологических линиях производится около 1,1 млн м<sup>3</sup> продукции в год. К средним относятся компании с годовой мощностью производства свыше 400 тыс. м<sup>3</sup>. Таких предприятий тоже два – ООО «ЮДК» (г. Днепр) с годовой мощностью производства 450 тыс. м<sup>3</sup> и ООО «Енерджи Продакт» (г. Новая Каховка, Херсонская обл.) с годовой мощностью 420 тыс. м<sup>3</sup>. Из остальных предприятий стабильно работают и имеют

Производители автоклавного газобетона в Украине (данные 2017 г.)

Таблица 1

Производитель	Оборудование	Месторасположение	Максимальная производительность линии	
			м <sup>3</sup> /сутки	тыс. м <sup>3</sup> /год
ООО «Ориентир-Будэлемент»	HETTEN (модернизированная линия)	г. Бровары Киевской обл.	3800	1380
ООО «Аэрок» (2 завода)	Универсал-60 (Обухов) WEHRHANN (Обухов) HESS (Березань)	г. Обухов и г. Березань Киевской обл.	3200	1050
ООО «ЮДК»	MASA-HENKE	г. Днепр	1500	450
ООО «Енерджи Продакт»	DUROX	г. Новая Каховка Херсонской обл.	1300	420
ООО «Юпитер»	WKB SYSTEMS	г. Вознесенск Николаевской обл.	850	280
ЧП «Будтехнология-Н»	Универсал-60 (2 линии)	г. Купянск Харьковской обл.	600	200
Корпорация «ХСМ»	HETTEN	г. Харьков	600	200
Тернопольстрой	Польша	г. Тернополь	500	150
ООО «ТБК»	WUXI METTLE	г. Херсон	400	120
ООО «Силикатобетон»	Китай	г. Сумы	400	120
«Житомирский КСИ»	Универсал-60 WEHRHANN	г. Житомир	250	80
ЧП «Автокрафт»	Украинское оборудование (ЧП «ИНТеРБудМа»)	г. Бершадь Винницкой обл.	250	80
«Днепровский завод строительных материалов»	Экстра Блок	г. Днепр	150	50
ООО «Теплобуд-Сиверщина»	СССР	г. Чернигов	20	5
<b>ИТОГО:</b>			<b>13820</b>	<b>4585</b>

хорошую загруженность производства только ООО «Юпитер» (г. Вознесенск, Николаевская обл.) и «Корпорация ХСМ» (г. Харьков). Заводы «Днепровский ЗСМ» (г. Днепр) и «Житомирский КСИ» (г. Житомир) работают не в полную мощность. Бывший в Украине лидером с советских времен производитель газобетона «Купянский СЗ» (г. Купянск, Харьковская обл.) из-за потери традиционного рынка сбыта и отсутствия модернизации производства находится в тяжелом экономическом состоянии, работая на 5-10% от своей мощности.

Ранее анонсированные полноценные запуски производств на заводах ПАО «ТБК» (г. Херсон) и ООО «Силикатобетон (г. Сумы)» в 2017 году так и не состоялись. Предприятия ООО «Теплобуд-Сиверщина» (г. Чернигов) и ЧП «Автокрафт» (г. Бершадь, Винницкая обл.) не работают, производственные мощности этих компаний находятся в законсервированном виде.

В 2018 году планирует запуститься новый завод в г. Тернополь компании «Тернопольстрой». Ориентировочная мощность предприятия около 500 м<sup>3</sup> в сутки.

Крупные предприятия отрасли постоянно занимаются модернизацией и расширением производства имеющихся мощностей. Так, ООО «Ориентир-Будэлемент» в начале прошлого года нарастил максимальную суточную мощность с 3650 м<sup>3</sup> до 3800 м<sup>3</sup> в сутки. Не отстает в планах своего развития и ООО «Аэрок». У компании есть планы дальнейшего увеличения мощности производства на 2018 г. за счет установки еще 1 автоклава на заводе в г. Березань.

Если сравнивать объемы потребления всех стеновых материалов в Украине, то доля автоклавного газобетона в 2017 году составила 39%. Остальной объем стен возводился с применением керамического (33%) или силикатного (8%) кирпича, блоков из цемента или поризованной керамики (20%). Высокие теплоизоляционные свойства автоклавного газобетона, простота и низкая трудоемкость монтажа блоков, долговечность конструкций и конкурентоспособная стоимость продукции – все эти факторы вывели автоклавный газобетон в лидеры отрасли стеновых материалов.

Из импортных блоков на строительном рынке Украины представлена продукция белорусских и европейских компаний. По данным Государственной таможенной службы Украины [2], на территорию страны из Республики Беларусь в 2017 году импортировано около 140 тыс. м<sup>3</sup> продукции, из стран ЕС – около 10 тыс. м<sup>3</sup> газобетона.

Что касается производства стеновых материалов-конкурентов, то по данным Государственной службы статистики Украины [1] в 2017 году по сравнению с 2016 годом наблюдался рост объемов производства керамического кирпича на 220 тыс. м<sup>3</sup> и небольшое падение объемов производства силикатного кирпича и блоков на основе цемента.

В целом, по прогнозам участников рынка, в 2018 году объемы продаж автоклавного газобетона и его доля рынка среди каменных стеновых материалов сохраняться примерно на уровне 2017 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная служба статистики Украины. – <http://www.ukrstat.gov.ua/>
2. Государственная таможенная служба Украины. – [www.customs.gov.ua](http://www.customs.gov.ua)

# УДАРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ – ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗАВОДА – СПОСОБ СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ НА ЕГОРЬЕВСКОМ ЗАВОДЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ\*



**Смирнов А.Ю.,**  
генеральный директор  
ООО «Егорьевский Завод  
Строительных Материалов»  
г. Егорьевск (Россия)



**Рублёв А.М.,**  
директор по производству  
ООО «Егорьевский Завод  
Строительных Материалов»  
г. Егорьевск (Россия)



**Баранов А.А.,**  
главный технолог  
ООО «Егорьевский Завод  
Строительных Материалов»  
г. Егорьевск (Россия)



**Акулова М.В.,**  
советник РААСН,  
д.т.н., профессор  
ФГБОУ ВПО Ивановский  
Государственный  
Политехнический  
Университет,  
г. Иваново (Россия)

**Ключевые слова:** автоклавный газобетон, ударная технология, опыт производства, повышение производительности, снижение себестоимости.

Раскрыт производственный опыт Егорьевского Завода Строительных Материалов по изготовлению автоклавного газобетона на технологической линии Vario-Block 1440 фирмы Masa-Henke Германия. Показано, что работа по ударной технологии позволяет решить множество производственных задач, направленных на увеличение объемов выпуска готовой продукции и снижение ее себестоимости. Представлена информация по проведенной модернизации оборудования. Дана оценка профессиональной работы персонала предприятия. Достигнуто увеличение производительности технологической линии на 7,8% от проектной мощности до 1552,5 м<sup>3</sup>/сут. газобетонных изделий. При этом полная себестоимость продукции снизилась на 13%, несмотря на рост цены материалов, электроэнергии, газа и транспортных издержек.

Решение о строительстве предприятия по производству газобетонных блоков в г. Егорьевск было принято советом учредителей в 2007 г. После анализа поставщиков технологического оборудования выбор пал на немецкую компанию Masa-Henke – одного из мировых лидеров в разработке технологии и изготовлении оборудования для производства автоклавного ячеистого бетона. Как показал дальнейший опыт эксплуатации на Егорьевском Заводе Строительных Материалов, данное решение было правильным. К сожалению, из-за кризиса 2008-2009 гг. проект был

\* Оригинальная публикация статьи в журнале «Строительные материалы» (№ 5, 2018)

временно заморожен. Активная часть строительства и монтажа началась в апреле 2011 г. Первый куб газобетонных блоков в итоге был выпущен 5 июля 2012 г.

На предприятии ЕЗСМ установлена технологическая линия Vario-Block. Ее заявленная проектная производительность составляет 1440 м<sup>3</sup> ячеистого бетона в сутки, а особенностью производства является работа по ударной технологии [1].

На начальном этапе среднесуточная выработка была порядка 1100 м<sup>3</sup>. При этом завод вышел на круглосуточный режим производства в четыре смены, а штат сотрудников составлял 260 человек. В сутки заливалось по 190÷200 массивов объемом 5,625 м<sup>3</sup> готовой продукции, а месячный выпуск достигал 30 тыс. м<sup>3</sup>. Если говорить в цифрах, приближенных к технологии, то производственный цикл занимал 7÷8 мин, а скорость созревания массивов доходила до 150 мин. Эти показатели существенно повышали себестоимость продукции, снижая нашу конкурентоспособность.

В данном случае стоит отметить, что объем производства в 75% от проектной мощности линии был вызван не «слабыми» возможностями самого оборудования от фирмы Masa-Henke, а организационно-техническими и технологическими аспектами с нашей стороны. Предприятие изначально поставило высокую планку, которую с наскака преодолеть не получилось. Специалистами отделов и служб были выделены критерии, которые не позволяли пройти психологический рубеж в 1100 м<sup>3</sup>. Основным была, конечно, работа с операторами и машинистами оборудования. Ведь каким бы хорошим ни было оборудование с его автоматизацией, управляет им все же человек. Выяснилось, что в процессе производства чаще возникали не аварийные ситуации, а так называемые «рабочие моменты». Порой нужно было буквально выполнить пару операций на пульте управления и автоматический режим продолжался. На практике же терялись драгоценные минуты, а такт производства сбивался. Проведя ряд обучений и стажировок, завод смог оперативно повысить квалификацию всех работников до должного уровня. В результате желаемый объем готовой продукции 1440 м<sup>3</sup> в сутки был достигнут.

В период 2013-2014 гг. предприятие ЕЗСМ благополучно отработало с заявленной проектной производительностью. Причем объем выпуска все равно не позволял обеспечить спрос на газобетон. Поэтому, видя заложенный потенциал как в самой линии Vario-Block 1440, так и в возможностях завода, руководством была поставлена новая цель – выпуск

43÷44 тыс. м<sup>3</sup>/мес. С этого момента началась активная работа по повышению производительности линии выше проектной и снижению себестоимости продукции. Причем именно ударная технология и ее особенности, как выяснилось в ходе реализации поставленных задач, стала залогом успеха.

Был составлен план организационно-технических мероприятий, включающий в себя порядка 80 пунктов. Укрупненно его можно разделить на несколько блоков:

- улучшение технологического процесса;
- увеличение коэффициента использования оборудования (КИО);
- увеличение коэффициента выхода годной продукции (КВГ);
- модернизация оборудования;
- организационные мероприятия, направленные на повышение профессиональных навыков персонала завода.

При выпуске 1440 м<sup>3</sup> продукции первым явным этапом производства, который не позволял увеличить объем, было время созревания. Между заливкой всех форм и резкой первой у нас образовывался небольшой технологический промежуток, который использовался для обслуживания линии. Вскоре выяснилось, что обоснованной необходимости в этом нет. Для содержания оборудования в технически исправном и чистом состоянии достаточно было одной паузы в смену, приуроченной к переходу по выпуску разных плотностей или смены размеров на участке резки, или достаточно долгой чистке миксера участка смесительной башни. Ускорить время созревания было решено за счет снижения водотвердого отношения газобетонной смеси (В/Т) [2]. К тому моменту возникло понимание, что для ударной технологии оно у нас достаточно высокое. Да и работа самих столов оставалась под вопросом. Частота и высота совершаемых ударных воздействий были невелики. В редких случаях, когда массив по техническим причинам отправлялся в камеру созревания, минуя ударный стол, не наблюдалось существенных отличий от массивов, прошедших ударные воздействия.

Большую помощь в понимании процессов производства ячеистого бетона по ударной технологии и оптимизации составов оказали Н.П. Сажнев [3] и М.В. Кафтаева [4]. Снизив В/Т и изменив настройки работы ударных столов, удалось сократить время созревания.

Дальнейшие этапы повышения эффективности производительности можно охарактеризовать как циклические. Попутно всплывали новые задачи, решая которые мы вновь возвращались в начало технологической це-

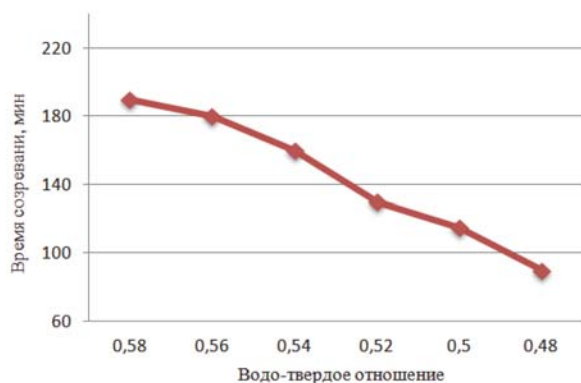


Рис. 1. График изменения времени созревания от снижения В/Т

почки, как бы на следующий виток доработок. Так, значительно ускорив созревание за счет еще большего снижения В/Т выяснилось, что время выполнения технологических операций оказалось не достаточно быстрым. Но специфика оборудования фирмы Masa-Henke позволила нам успешно решить и эти задачи. Без подключения дополнительного компьютера и работ по перепрограммированию, с пульта управления производился подбор оптимальных позиций и временных интервалов. А фактическое наличие на каждом двигателе частотного преобразователя дало возможность менять скорости передвижения и выполнения операций на всех этапах производства.

Уход к ударной технологии с вязкими смесями позволил выделить и другие особенности производства. Изначально рабочая температура при заливке составляла  $38\div39$  °С, однако, благодаря снижению доли свободной (холодной) воды мы перешли на  $41\div42$  °С. При этом отрицательных факторов в технологии выявлено не было. Возник только вопрос появления крупных пор, который рассматривался с точки зрения покупательской привлекательности внешнего вида продукции. Испытательной лаборатории ЕЗСМ при сравнительной оценке физических свойства газобетона с наличием крупных пор и без удалось зафиксировать рост прочности на сжатие (как отпускной, так и фактической). Остальные характеристики не претерпели существенных изменений. Повышение начальной температуры позволило снизить расход газообразователя на  $3\div4\%$ , а также улучшить структуру вспученной газобетонной массы в местах примыкания к стенкам заливочной формы. Особенно это было заметно со стороны запарочного днища, которое на линии Vario-Block является рабочим бортом. Увеличив производительность и ускорив оборот бортоснастки, температура стенки заливочной формы стала достаточно высокой.

Это приводило к ускорению процесса роста по периметру залитой ячеистой смеси. Структура на расстоянии  $20\div50$  мм от борта имела крупную, «рыхлую» ячейку [5]. Выравнивание температур и повышение вязкости массы при сливе существенно снизило образование данного дефекта.



Рис. 2. Образование дефектной структуры из-за разницы температур запарочного днища и газобетонной смеси

Работа на пониженном В/Т способствовала пересмотру и этапа автоклавной обработки. Благодаря снижению влажности массива-сырца до  $27\div30\%$  и повышению его температуры удалось сократить графики [6]. Изменению подвергся как этап подъема давления, так и экзотермической выдержки. В результате работа автоклавного отделения приобрела равномерный характер. Нам удалось обеспечить необходимую оборачиваемость для повышения эффективности производительности завода. Вдобавок увеличилась длительность цикла перепуска пара и сократился объем образуемого конденсата. При этом паросиловое хозяйство зафиксировало экономию газа в среднем 5% в месяц.

Дальнейшее наращивание объемов производства было прервано, так как при длительном выпуске газобетона повышенной плотности образовалась острая нехватка в песчаном шламе. К тому моменту мельница Semtec работала на максимальной паспортной производительности, а нагрузка на основной двигатель достигала  $85\div95\%$  от допустимой. В решении данного вопроса основную роль опять сыграла ударная технология. Были пересмотрены нормы удельной поверхности молотого кремнеземистого компонента. Снизив загрузку мелющими телами и увеличив производительность до 30 т/ч, помольно-сырьевой участок смог обеспечить основное производство необходимым количеством песчаного шлама. При этом нагрузка на двигатель ша-



ровой мельницы осталась на прежнем уровне. Благодаря снижению удельной поверхности с 240 м<sup>2</sup>/кг до 210 м<sup>2</sup>/кг при заливке D600 было ожидаемо отмечено увеличение расплыва газобетонной смеси [7]. Понизив В/Т и выполнив ряд технологических корректировок, удалось удержать прочность готовой продукции от неминусовой просадки.

В отдельные периоды работы ЕЗСМ неоднократно вставал вопрос с нехваткой основных компонентов смеси. Ввиду увеличения нашей производительности порой поставщик не мог своевременно обеспечить в полном объеме необходимый уровень запасов. Было принято решение о подборе нескольких поставщиков. Тестовая работа на альтернативных материалах осуществлялась и для отработки возможных изменений в технологии, и для поиска путей повышения качества готовой продукции, и для увеличения производительности, и для снижения себестоимости. На начальном этапе апробации из-за низкого В/Т заливочной смеси особое внимание в паспортных данных сырьевых компонентов уделялось: использованию интенсификаторов помола при производстве; удельной поверхности; скорости и температуре гашения извести; нормальной густоте цемента; кинетики газовыделения и размеру частиц газообразователя. Специфика ударного способа дала возможность оперативно подобрать варианты сочетаний цемента, извести и алюминия. При этом отделом главного технолога было разработано для каждой плотности порядка 8÷10 рецептур, учитывающих особенности и качественные характеристики по каждому поставщику. Именно работа по ударной технологии в конечном итоге позволила получить своего рода «сырьевую безопасность и независимость».

Безусловно, увеличению производительности ЕЗСМ выше проектной и снижению себестоимости продукции способствовали и оптимизационные работы. Они проводились инженерно-техническими специалистами. Опираясь на фактическое состояние оборудования и статистические данные наработки на отказ, были установлены интервалы межремонтных циклов. На их основе разработан график текущего обслуживания в базе 1С. Его соблюдение позволило эффективно распределить материальные ресурсы для подготовки проведения ППР. Это, в свою очередь, максимально снизило внеплановые простои между циклами обслуживания.

Также мы провели ряд самостоятельных модернизаций оборудования по повышению производительности и надежности, снижению энергозатрат. Практически полностью была

пересмотрена работа участка подачи сырьевых компонентов: проложили дублирующие магистрали к расходным силосам; выполнили монтаж пневмо-камерных насосов; изменили систему подачи песка в бункер-питатель шаровой мельницы. Доработке подверглись и механизмы основного производственного цеха: произвели замену шнеков ЦПУ на более производительные; для ускорения процесса смазки форм на маслостанции врезали дополнительные форсунки; на заливочных формах установили фальшборты; изменили систему гидравлики кранов-манипуляторов за счет дополнительных насосных станций и радиаторов охлаждения масла; программу управления краном участка накопителя днищ дополнили функцией «зима-лето»; на 2-ом модуле резки смонтировали комплект колонн под расширение размерного ряда продукции; под краном-перестановщиком участка сортировки изготовили 5-й выставочный стол. Отдельной задачей стоял вопрос модернизации линии переработки подрезного слоя [8]. К тому же совместно с ОАО НПО «Магнетон» (г. Владимир) мы наладили выпуск как быстро изнашиваемых запчастей (винт миксера, молотки дробилки, определенные типы рабочих колес шламовых насосов), так и крупных узлов (поворотный механизм сливного рукава миксера, подъемный стол упаковочной машины, толкатель автоклавного трансбордера, запарочные днища и телеги). В результате совокупность проведенных мероприятий дала возможность достичь желаемого уровня эффективной эксплуатации всей линии по производству газобетона.

Выход предприятия на повышенные объемы выпуска был бы не возможен и без качественной и профессиональной работы персонала [9]. Поэтому мы уделили особое внимание подготовке и мотивации сотрудников. Были разработаны технологические карты и производственные инструкции для каждого участка, включающие требования контроля над технологическими процессами. В дальнейшем введение ежегодной аттестации позволило выявить слабые места в обучении. При этом результаты прохождения аттестации напрямую влияли на материальное поощрение работника. Для всех должностей были установлены свои KPI, зависящие как от общего выполнения производственного плана, так и от выполнения показателей того или иного подразделения. Рост технической подготовки сотрудников и правильная система мотивации позволили выйти на достаточно высокий уровень производительности. А повышение квалификации и постоянное улучшение социального пакета дали возможность оптимизировать штат, сокра-

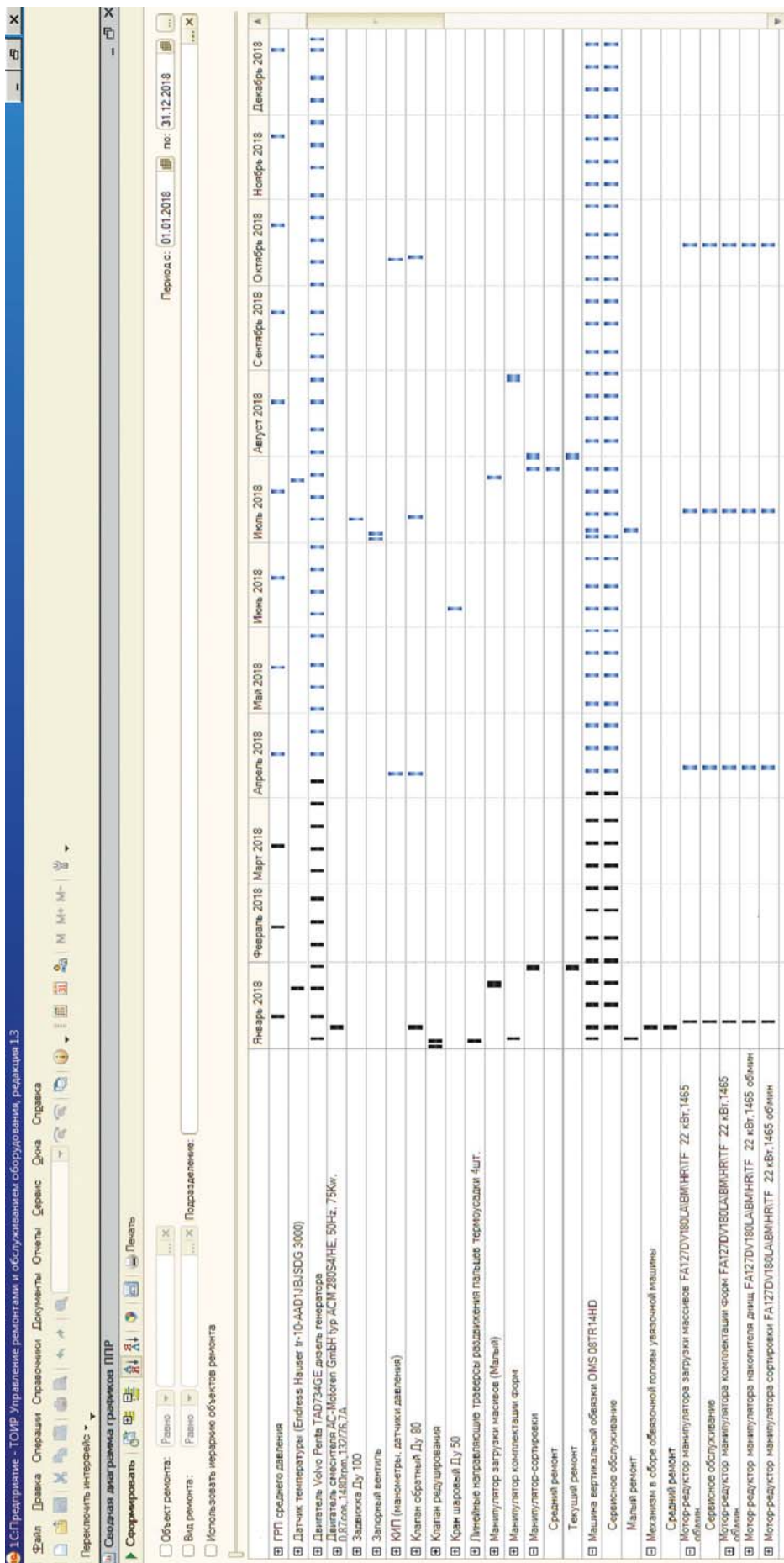


Рис. 3. Вид сводной диаграммы графиков ППР в системе 1С

тив персонал на 16,4%. Уменьшив суммарный ФОТ предприятия, мы повысили заработную плату работников от 8 до 20%.

Отработка ударной технологии и основной объем выполненных организационно-технических мероприятий пришлось на 2015–2016 гг. В результате производственный цикл был сокращен до 4,5 мин. Рост газобетонной смеси на ударном столе стал занимать не более 540 с. При этом время созревания вне зависимости от плотности выпускаемой продукции составило 90÷110 мин. Переходы по сырью, благодаря подобранным рецептурам и оперативному отслеживанию этапа подъема/откипания массы после заливки, теперь не вызывали сбой такта работы линии. Коэффициент выхода годной продукции в указанный период стабильно зафиксировался на 98,7÷99,1%. Самое главное были достигнуты поставленные задачи. Нам удалось увеличить производительность линии на 7,8% от проектной мощности до 1552,5 м<sup>3</sup>/сут. Полная себестоимость продукции снизилась на 13%, несмотря на рост цены материалов, электроэнергии, газа и транспортных издержек.

За 5 лет успешной работы Егорьевский Завод Строительных Материалов раскрыл потенциал ударной технологии линии Vario-Block 1440 компании Masa-Henke.

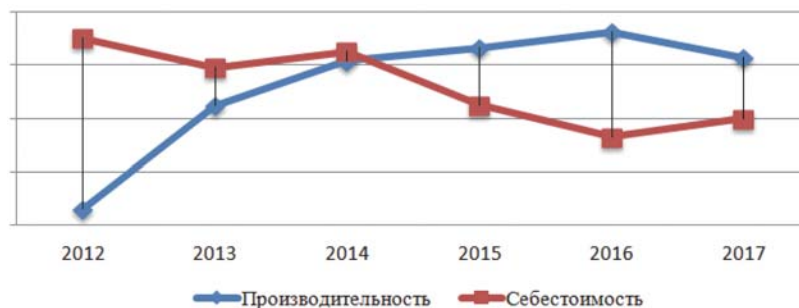


Рис. 4. Изменение производительности и себестоимости в относительных единицах

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маттеас Кларе, Иванов, А.К. Производство ячеистобетонных изделий по технологии фирмы «Маза-Хенке» // Строительный рынок. – 2008. – № 5. – С. 11–14.
2. Вишневский, А.А., Гринфельд, Г.И. Ударная или литевая? / Сб. докладов научно-практической конференции «Современный автоклавный газобетон». – Санкт-Петербург, 2015. – С. 25–31.
3. Сажнев, Н.П. [и др.] Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика. – Мн.: Стринко, 2010. – 464 с.: ил.
4. Кафтаева, М.В. Теоретическое обоснование основных пределов технологии производства ячеистых силикатных материалов автоклавного твердения. / Дис. д-ра техн. наук. – Белгород, 2013. – 299 с.
5. Королев, А.С., Волошин, Е.А., Трофимов, Б.Я. Оптимизация состава и структуры конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона // Строительные материалы. – 2004. – № 3. – С. 30–32.
6. Сажнев, Н.П., Сажнев, Н.Н. Энергосберегающая ударная технология производства ячеистобетонных изделий и конструкций // Будівельні матеріали виробництва та санітарна техніка. – 2009. – № 327. – С. 102–106.
7. MASA-Henke Maschinenfabrik Labormethoden für das Porenbeton-Betriebslabor. – 2010. – 82 с.
8. Баранов, А.А. Ресурсосберегающая технология применения многостадийного способа переработки подрезного слоя. / Сб. докладов научно-практической конференции «Современный автоклавный газобетон». – Екатеринбург, 2017. – С. 22–26.
9. Федосов, С.В., Грузинцева, Н.А., Матрохин, А.Ю. Моделирование условий обеспечения качества продукции предприятия по производству строительных материалов с учетом уровня профессионализма кадрового потенциала // Строительные материалы. – 2015. – № 12. – С. 65–67.

## REFERENCES

- Matteas Clare, Ivanov A.K. Production of cellular concrete products using the technology of the company «Maza-Henke». *Stroitel'nyy rynek*. 2008. № 5. Pp. 11–14. (In Russian).
- Vishnevsky A.A., Grinfeld G.I. Shock or injection? *Sat. reports of the scientific-practical conference «Modern autoclaved aerated concrete»*. St. Petersburg. 2015. Pp. 25–31. (In Russian).
- Sazhnev N.N. [and others] *Proizvodstvo yacheistobetonnykh izdeliy: teoriya i praktika* [Production of cellular concrete products: theory and practice]. Minsk: Strinko. 2010. 464 p.: ill.

Kaftaeva M.V. Theoretical substantiation of the main redistribution of the technology of production of cellular silicate materials of autoclave hardening. Diss ... Dr. Tech. sciences. Belgorod. 2013. 299 p. (In Russian).

Korolev A.S., Voloshin E.A., Trofimov B.Ya. Optimization of composition and structure structural-heat-insulating cellular concrete. *Stroitel'nyye materialy*. 2004. № 3. Pp. 30–32. (In Russian).

Sazhnev N.P., Sazhnev N.N. Energy-saving shock technology for the production of cellular concrete products and structures. *Budiveln'i materialy virobi ta sanitarna tekhnika*. 2009. № 327. Pp. 102–106. (In Ukraine).

MASA-Henke Maschinenfabrik Labormethoden für das Porenbeton-Betriebslabor. 2010. 82 p.

Baranov A.A. Resursosberegajushchaja technology of application of a multistage method of processing of undercutting layer. *Sat. reports of the scientific-practical conference «Modern autoclaved aerated concrete»*. Ekaterinburg. 2017. Pp. 22–26. (In Russian).

Fedosov S.V., Gruzintseva N.A., Matrokhin A.Yu. Modeling of conditions for ensuring the quality of products of the enterprise for the production of building materials, taking into account the level of professionalism of the personnel potential. *Stroitel'nyye materialy*. 2015. № 12. Pp. 65–67. (In Russian).

# К ВОПРОСУ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ КРУПНОРАЗМЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЯЧЕИСТОГО АВТОКЛАВНОГО БЕТОНА



**Строцкий В.Н.,**  
к.т.н., зав. сектором  
лаборатории технологии  
бетонов НИИЖБ  
им. А. А. Гвоздева  
(АО «НИЦ «Строительство»)



**Зимин С.Г.,**  
инженер, зав. лабораторией  
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева  
(АО «НИЦ «Строительство»)



**Ухова Т.А.,**  
Заслуженный строитель  
России, к.т.н.  
(г. Москва)

**Филиппов Б.П.,**  
к.т.н.  
(г. Москва)

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований ползучести ячеистого бетона и значений потерь предварительного напряжения в арматуре в конструкциях из ячеистого бетона. Получена формула для определения потерь предварительного

напряжения в конструкциях из автоклавного ячеистого бетона.

Приведены исследования прочности и жесткости изгибаемых элементов из ячеистого бетона, в том числе со смешанным армированием. Подтверждена возможность применения предварительного напряжения в изгибаемых элементах из автоклавного ячеистого бетона со смешанным армированием.

Приведены результаты заводских испытательных опытных образцов стеновых панелей из автоклавного ячеистого бетона. Подтверждена возможность практического применения предварительного напряжения в реальных конструкциях из автоклавного ячеистого бетона.

**Annotation.** The article presents the results of researches of creep of cellular concrete and values of losses of prestress in reinforcement in constructions made of cellular concrete. The formula to determine loss of pre-stress in structures made of autoclaved cellular concrete.

The research of strength and stiffness of bending elements of cellular concrete, including mixed reinforcement. The possibility of using prestressing in bending elements of autoclaved cellular concrete with mixed reinforcement was confirmed.

Results of factory tests of prototypes of wall panels from autoclaved cellular concrete are resulted. The possibility of practical application of prestressing in real structures made of autoclaved cellular concrete has been confirmed.

## Общие положения

Идея применения предварительного напряжения заключается, как известно, в создании напряжений сжатия в тех зонах бетона, которые в условиях эксплуатации или изготовления, или транспортировки могут быть растянуты и в них появляются недопустимые по ширине раскрытия трещины. Предварительное напряжение значительно отодвигает момент появления первых трещин. При этом оно существенно повышает жесткость конструкций, что позволяет сократить расход стали, а в некоторых случаях и расход бетона.

Из литературных данных [1], [2] известны случаи успешного применения предварительного напряжения в конструкциях из ячеистого бетона, которые осуществлялись, как правило, двумя путями: созданием предварительного напряжения в слое тяжелого бетона, расположенного в растянутой зоне двухслойных ячеистобетонных конструкций, и созданием предварительного напряжения непосредственно в однослойных ячеистобетонных конструкциях.

Несмотря на повышение общей жесткости двухслойных преднапряженных конструкций, трещиностойкость ячеистого бетона оставалась низкой ввиду отсутствия достаточного его обжатия. Кроме того, значительно возростала масса (вес) двухслойных конструкций и усложнялся технологический процесс изготовления, так как в цехе ячеистого бетона необходимо было устанавливать оборудование для изготовления тяжелого бетона. В настоящее время такие конструкции не изготавливаются по причине их малой технико-экономической эффективности.

Указанные недостатки в значительной мере представляется возможным исключить при изготовлении однослойных конструкций.

Исследования показали, что применение предварительно напряженных конструкций из ячеистого бетона возможно, но они имели своей целью, как правило, разработку той или иной конструкции по аналогии с предварительно напряженными конструкциями из тяжелого бетона и поэтому имели ряд недостатков, не учитывающих особенности ячеистого бетона: потери предварительного напряжения, анкерровку арматуры и т.д.

В НИИЖБ и в Уральском ПромстройНИИ-проект [3] проводились работы по изучению возможности применения в качестве преднапряженной арматуры стержней из стали класса А-III (А400), при этом натяжение проводилось не на отдельных стержнях, а на плоских сварных каркасах механическим способом при помощи специальных пневматических гайковертов. Исследовалась прочность анкерровки

напряженных каркасов с включением в работу поперечных стержней, а также потери напряжения от усадки и ползучести бетона, в том числе и при карбонизации бетона. Эти исследования в значительной мере расширили область применения преднапряженного армирования и не только в плитах, но и в стеновых панелях с симметричным армированием. Были разработаны рабочие чертежи опытных стеновых панелей жилых зданий размером 6х2,8 и 9х2,8 м. Опытное производство таких панелей показало возможность их изготовления в заводских условиях, однако несовершенство конструкций натяжных устройств не позволило добиться серийного изготовления преднапряженных конструкций ввиду повышенной трудоемкости при оснащении форм арматурными каркасами с преднапряженной арматурой.

В дальнейшем в Уральском политехническом институте [5], [6] были проведены исследования, показавшие возможность повышения трещиностойкости панелей жилых зданий путем применения преднапряженных стержней, расположенных по центру сечения панели.

Анкеровка продольных стержней из стали класса А-III (А400) осуществлялась приваренными на концах этих стержней коротышами того же диаметра, что и продольная арматура. Опытное изготовление панелей с такой арматурой показало, что более эффективным является не механический способ натяжения на упоры форм, а электротермический. Остаточное напряжение в арматуре после проявления потерь от быстроснатекающей ползучести, усадки бетона, деформации анкерующих стержней и потерь, обусловленных деформацией форм и автоклавной обработкой, составляли не менее 1000 кг/см<sup>2</sup>, что обеспечивало надежное закрытие технологических и усадочных трещин в панелях размером 6х2,8 м во время их транспортировки и монтажа.

Как отмечалось выше, основным недостатком преднапряженных конструкций из ячеистого бетона, изготавливаемых по аналогии с конструкциями из тяжелого бетона путем натяжения на упоры, являются большие потери предварительно напрягаемой арматуры за счет релаксации при автоклавной обработке и деформации форм, а также надежной анкерровки высокопрочной арматуры в теле бетона. Это обстоятельство не дало возможности внедрить также конструкции, армированные сталью классов А500, А600 и высокопрочной проволокой класса Вр-II (Вр1400).

Еще в 60-х годах прошлого столетия было предложено применять предварительно напряженные конструкции из легкого и ячеистого бетонов, изготавливаемые способом натяжения

на бетон с применением специальных анкеров на торцах элементов [2]. Однако при этом подразумевалось образование в теле бетона каналов, в которые бы укладывалась преднапряженная арматура по аналогии с тем, как это делается в конструкциях из тяжелого бетона. Такой способ изготовления преднапряженных конструкций даже из тяжелого бетона сейчас применяется крайне редко из-за сложности изготовления каналов и их инъектирования раствором. Поэтому вопрос применения натяжения на бетон в ячеистобетонных конструкциях до настоящего времени практически не рассматривался.

Однако, как показали исследования, проведенные в НИИЖБ [7], способ натяжения арматуры на ячеистый бетон заслуживает внимания и в первую очередь тем, что позволяет применять высокопрочную арматурную сталь, контролируя уровень ее предварительного натяжения. Был решен вопрос образования каналов самой же арматурой, учитывая такие особенности ячеистого бетона до его автоклавной обработки, как способность довольно легко нарушать сплошность своей массы режущими инструментами без дальнейшего слипания нарушенных поверхностей друг с другом, что довольно успешно используется при резательной технологии изготовления конструкций (а.с. 1172729).

Анкеровка высокопрочной арматуры может быть осуществлена путем применения опорных шайб по торцам элементов. Потери предварительного напряжения в арматуре будут обусловлены ползучестью и усадкой после обжатия ячеистого бетона. Причем потери от быстроснатекающей ползучести могут быть компенсированы путем дополнительной подтяжки арматуры.

Вторым преимуществом нового способа изготовления преднапряженных ячеистобетонных элементов является вынос поста натяжения арматуры из технологической цепочки работ цеха заливки форм ячеистобетонной массы. Пост натяжения заранее заформованных в ячеистый бетон арматурных стержней после автоклавной обработки конструкции может быть организован на складе готовой продукции. Такая технологическая схема была опробована в свое время на Ижевском ЗЯБ во время изготовления опытных плит покрытия с предварительно напряженной арматурой  $\phi 5\text{Bp-II}$  (Bp1400). Причем в этих плитах было применено смешанное армирование, поскольку для обеспечения надежности конструкций из условия прочности должна быть установлена ненапрягаемая арматура, а для повышения жесткости и трещиностойкости конструкции может быть применена высокопрочная арматура с предварительным натяжением. Испыта-

ние опытных плит показало, что они обладают достаточной прочностью и жесткостью при сокращении расхода стали на 32% по сравнению с контрольными, в которых для обеспечения жесткости была поставлена дополнительная ненапрягаемая арматура класса A-II (A300). Первые опыты показали только возможность изготовления преднапряженных конструкций со смешанным армированием и с натяжением высокопрочной арматуры на бетон.

Специальных исследований ячеистобетонных конструкций со смешанным армированием, в которых предварительно напряженная арматура не имела бы сцепления с бетоном по всей длине, не проводилось вообще. Исследований конструкций из тяжелого бетона с подобным армированием выполнено в незначительном количестве. Известны лишь эксперименты, проведенные в ДальНИИС на железобетонных балках прямоугольного сечения с размерами 15x30 см со смешанным армированием (с напрягаемой и ненапрягаемой арматурой). Армирование балок без предварительного напряжения состояло из стержней  $\phi 12$  и 14 мм класса A-IIIВ (A400В) и стержней  $\phi 14$  и 16 мм класса A-IIIВ (A400в) и класса A-I (A240).

Предварительно напряженная арматура в опытных балках выполнялась в виде затяжек, расположенных вне сечения балки, а также в виде стержней, расположенных в каналах балок армирование предусматривалось со сцеплением с бетоном и с натяжением на упоры до бетонирования. Балки при испытании загружались двумя сосредоточенными силами, расположенными в третях пролета.

На основании анализа вышеприведенных исследований сделан вывод о том, что в ячеистобетонных конструкциях со смешанным армированием при количестве ненапрягаемой растянутой арматуры, превышающем содержание предварительно напряженной арматуры  $A_s > A_{sp}$ , предварительно напряженная арматура без сцепления с бетоном позволяет значительно повысить жесткость изгибаемого элемента, а также и его прочность за счет изменения напряженно-деформированного состояния в поперечном сечении элемента. Элемент в этом случае, как известно, будет не чисто изгибаемый, а внецентренно сжатый с большим значением высоты сжатой зоны.

Для панелей стен ленточной разрезки (каркасы промышленных и общественных зданий) наиболее рациональным является симметричное армирование, поскольку панель воспринимает в процессе эксплуатации знакопеременные ветровые нагрузки, являющиеся основными при ее расчете и конструировании.

В связи с этим напращивается такое размещение напрягаемой стержневой или проволочной арматуры в поперечном сечении панели, при котором создается равномерное обжатие всего поперечного сечения вне зависимости от действия внешних ветровых нагрузок.

Весьма перспективным в то же время может быть способ натяжения на бетон после автоклавной обработки изделия. При этом повышается надежность конструкции, снижаются потери предварительного натяжения в арматуре по сравнению со способом натяжения на упоры и достигается экономия стали. Однако ряд вопросов нуждается в дальнейшем исследовании. В первую очередь это экспериментально-теоретическая оценка работы конструкции со смешанным армированием без сцепления преднапряженной арматуры с бетоном, поскольку методика расчета СНиП 2.03.01-84 на такие конструкции из ячеистого бетона не распространяется.

### Исследования ползучести ячеистого бетона и потерь предварительного напряжения в арматуре в конструкциях из ячеистого бетона

В диссертации В.П. Трамбовецкого [2] в главе 4 «Исследование потерь предварительного напряжения в арматуре конструкций из ячеистого бетона» приведены исследования по определению потерь предварительного напряжения в арматуре из-за усадки и ползучести бетона.

Опытные образцы были приняты центрально обжатыми и в процессе наблюдений подвергались в основном действию усилий предварительного обжатия. Для обеспечения равномерного обжатия бетона опытные образцы длиной 80 см по торцам имели металлические пластины толщиной 10 мм.

Опытные образцы армировались центрально одним стержнем класса Атк (термически упрочненная катанка)  $\varnothing$  6 мм. Разный уровень напряжений в бетоне опытных образцов создавался либо изменением размеров поперечного сечения (7x14 см, 12x16 см), либо изменением величины контролируемого натяжения  $\sigma_o$ . Величины обжатия изменялись в пределах до 0,5  $R_b$ . Характеристики ползучести ячеистых бетонов в определенной степени зависят от их прочности (плотности), поэтому бетон в опытных сериях имел разные прочности – от 25 кг/см<sup>2</sup> (2,45 МПа) до 110 кг/см<sup>2</sup> (10,79 МПа) и плотности – от 590 кг/м<sup>3</sup> до 1100 кг/м<sup>3</sup>. В качестве контрольных образцов было решено применить бетонные призмы тех же размеров, что и основные. Кроме того, в первой серии для сравнения были изготовлены и арми-

рованы контрольные образцы. Для получения характеристик ползучести бетона, применяемого в опытных сериях, в четвертой серии были изготовлены бетонные призмы размером 15x15x60 см, которые были загружены одновременно с основными образцами постоянным во времени усилием с помощью пружинных установок. Всего было испытано 53 образца.

В результате исследований получено: потери предварительного напряжения в арматуре от ползучести ячеистого бетона при  $\sigma_b < 0,5 R_b$  при натяжении на упоры и на бетон могут быть найдены по формулам:

$$\sigma_{ps}'' = 0,9 n \cdot \sigma_b \text{ или } \sigma_{ps}'' = 3600 \eta, \quad (1)$$

где  $n = E_s / E_b$ ;

$$\eta = \sigma_b / R_o;$$

$R_o$  – прочность (контрольная характеристика) ячеистого бетона.

Для промежуточных стадий работы конструкций величины потерь следует умножать на коэффициент

$$\beta = \frac{1,1t}{68+t}. \quad (2)$$

Потери предварительного напряжения в арматуре от усадки ячеистого бетона (классов В3,5–В7,5) при натяжении на упоры следует принимать равными 800 кг/см<sup>2</sup> (78,48 МПа), а при натяжении на бетон – 700 кг/см<sup>2</sup> (68,67 МПа).

В.П. Трамбовецкий [2] проводил испытания на призмах, армированных только предварительно напряженной арматурой. Поэтому результаты его исследований не дают представления о работе конструкций (элементов) со смешанным армированием.

«Рекомендации по проектированию и изготовлению наружных стеновых панелей из автоклавного ячеистого бетона с предварительно напряженной стержневой арматурой» [3] для жилых зданий содержат формулу для нахождения потерь предварительного напряжения от ползучести ячеистого бетона автоклавного твердения:

$$\sigma_{ps}'' = 150\alpha \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \cdot \varphi_t, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, принимаемый для автоклавного ячеистого бетона равным 1,3;

$$\varphi_t = \frac{4t}{100+3t}. \quad (4)$$

где  $t$  – время сут., отсчитываемое с момента изготовления панели до ее монтажа, принимаемое в случае неопределенности этого срока равным 100 сут.

Величина потерь предварительного напряжения от ползучести ячеистого бетона, вычисленная по формулам (1), полученным В.П. Трамбовецким [2], меньше, чем по формуле, приведенной в рекомендациях.

В то же время полученные выражения для определения потерь от ползучести бетона не учитывают наличие в конструкциях ненапрягаемой арматуры, которая всегда устанавливается хотя бы из конструктивных соображений. Поэтому вопрос изучения влияния ненапрягаемой арматуры на ползучесть ячеистого бетона является задачей весьма актуальной.

В [4] в разделе 3.4. изучалось влияние процента армирования на ползучесть некарбонизированных и полностью карбонизированных образцов 10x10x40 см из газозолобетона плотностью 620 кг/м<sup>3</sup> класса В2,5.

Железобетонные образцы армировались одиночной арматурой, расположенной в центре сечения и приваренной с двух концов к торцевым опорным пластинам.

В результате испытаний установлено, что с увеличением процента армирования уменьшается как скорость нарастания, так и величина деформаций ползучести. За 360 суток испытаний при увеличении процента армирования  $\mu_s$  от 0 до 1,131% относительные деформации ползучести газозолобетона уменьшились для некарбонизированных образцов с  $24 \times 10^{-5}$  до  $6,84 \times 10^{-5}$ . То есть относительные деформации ползучести некарбонизированных армированных образцов за 360 суток испытаний при проценте армирования 1,131% уменьшились по сравнению с бетонными неармированными образцами в 3,51 раза.

Анализ результатов испытаний образцов из ячеистого бетона при длительном нагружении позволил выявить зависимость деформации ползучести армированных образцов от процента армирования ненапрягаемой сжатой арматуры. Полученная математическая зависимость с определенными допущениями может быть представлена линейным уравнением

$$\varepsilon_{Ibs}(t) = \varepsilon_{Ib}(t) \cdot (1 - 0,5 \mu_s), \quad (5)$$

где  $\mu_s$  – процент армирования, в %;

$\varepsilon_{Ibs}(t)$  – деформация ползучести армированного образца;

$\varepsilon_{Ib}(t)$  – деформация ползучести неармированного образца.

Используя полученное выражение (5) для зависимости деформаций ползучести от процента армирования сжатого бетона, может быть рекомендован поправочный коэффициент в выражение для определения потерь преднапряжения в арматуре от ползучести бетона для

конструкций со смешанным армированием. Существующее выражение для определения потерь предварительного напряжения в арматуре в конструкциях из ячеистого бетона имеет вид:

$$\sigma_{ps}'' = 200 \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \cdot \varphi_t, \quad (6)$$

где  $\sigma_{bp}$  – напряжение обжатия бетона с учетом потерь;

$R_{bp}$  – передаточная прочность бетона, соответствующая принятому классу ячеистого бетона;

$\varphi_t$  – коэффициент, учитывающий срок загрузки конструкций, определяемый по формуле 4, в которой  $t$  – время, соответствующее загрузению конструкции со дня изготовления.

С учетом полученных результатов исследований формула (6) может быть дополнена коэффициентом, учитывающим армирование элемента напряженной арматурой. Тогда получим:

$$\sigma_{ps}'' = 200 \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \cdot \varphi_t (1 - \mu_s \cdot 0,5), \quad (7)$$

где  $\mu_s$  – принимается в %.

### Исследования прочности и жесткости изгибаемых элементов из ячеистого бетона со смешанным армированием

Как указывалось выше, крупноразмерные конструкции из ячеистых бетонов наряду с положительными свойствами, благодаря которым они применяются в ограждениях зданий различного назначения, обладают и некоторыми отрицательными свойствами, например, повышенной трещиностойкостью и недостаточной в ряде случаев жесткостью.

Большое количество проведенных натурных исследований показало, что появление и дальнейшее развитие трещин, помимо ухудшения внешнего вида изделий и необходимости проведения дополнительных ремонтных работ, может иногда приводить к снижению их долговечности в неблагоприятных условиях эксплуатации, например, при повышенном содержании  $CO_2$  и при повышении влажности.

Другой важный фактор, отличающий ячеистый бетон от обычного тяжелого, заключается в том, что модуль упругости ячеистого бетона меньше модуля упругости тяжелого бетона. Это проявляется в недостаточной жесткости изгибаемых конструкций. Так, например, плиты покрытия промышленных зданий типа ГКП или ЯКП (серия ПК-01-92) пролетом 6 м армированы не по условию обеспечения прочности, а по условию обеспечения их необ-



ходимой жесткости, что повышает расход продольной арматуры в сжатой и растянутой зонах на 40%.

Пониженная трещиностойкость и жесткость являются существенным недостатком крупно-размерных изделий из ячеистого бетона.

Образование первых трещин в изделиях из ячеистого бетона связано с технологией их изготовления, режимами автоклавной обработки и т.д. Трещины, образующиеся в процессе эксплуатации конструкций, связаны с действием целого ряда факторов, в том числе со свойствами исходных материалов для ячеистого бетона, влияющих на величину усадочных деформаций во времени. Снижение усадочных деформаций является важной проблемой, над которой работает в настоящее время значительное число исследователей. Наиболее существенным конструктивным мероприятием, направленным на повышение трещиностойкости и жесткости ограждающих конструкций, является применение предварительного натяжения арматуры.

В НИИЖБ в процессе экспериментальных исследований были изготовлены и испытаны балочные образцы.

Опытные образцы в виде балок размером  $b = 50$  см,  $h = 25$  см,  $L = 330$  см были изготовлены на опытном заводе ВНИИстром из ячеистого бетона плотностью 700–800 кг/м<sup>3</sup>, прочностью 4,12 МПа и 4,9 Мпа, модулем упругости 2374 МПа и 3247 МПа. Всего было изготовлено две серии образцов. Серии отличались армированием.

Первая серия имела ненапрягаемую продольную арматуру  $\varnothing 6A-III$  (A400), симметрично расположенную по сечению; вторая серия имела ненапрягаемую продольную арматуру в растянутой зоне  $\varnothing 12A-III$  (A400) (фактический диаметр – 11,5 мм) и ненапрягаемую арматуру в сжатой зоне  $\varnothing 6A-I$  (A240) (фактический

диаметр – 6,5 мм). В обеих сериях в качестве напрягаемой арматуры использовалась арматурная проволока  $\varnothing 5$  Вр-II (Вр1400), располагаемая по центру поперечного сечения балок. Для выявления эффекта обжатия бетона преднапрягаемой арматурой в каждой серии изготавливались балки без напрягаемой арматуры (эталонные образцы). Все опытные образцы изготавливались в стальных инвентарных формах, имеющих на торцевых бортах отверстия для пропуска напрягаемой арматуры и ее фиксации в проектное положение с помощью цанговых зажимов.

Для лучшей сохранности опытных балок транспортирование их в НИИЖБ для испытания осуществлялось автотранспортом непосредственно в формах. Натяжение арматуры  $\varnothing$  Вр-II в балках производилось после их распалубки и установки на стенд испытания. Стенд состоял из двух постоянных опор с расстоянием между ними (пролетом)  $L_0 = 300$  см и одной промежуточной временной опоры в середине пролета.

Натяжение не имеющей сцепления с бетоном арматуры производилось гидравлическим проходным домкратом (поз. 4, см. рис. 1).

При этом один конец арматуры фиксировался на траверсе с торца балки при помощи цангового зажима (поз. 6).

После достижения преднапряженной арматурой расчетных усилий второй конец арматуры фиксировался зажимом (поз. 7), и домкрат вместе с зажимом (поз. 5) убирался. Контроль за деформациями в напрягаемой арматуре производился при помощи наклеенных на арматуру тензодатчиков. Кроме того, в процессе натяжения арматуры в середине пролета балки замерялись деформации бетона в уровне ненапрягаемой арматуры.

Вертикальная нагрузка на балку в процессе испытания передавалась при помощи гидрав-

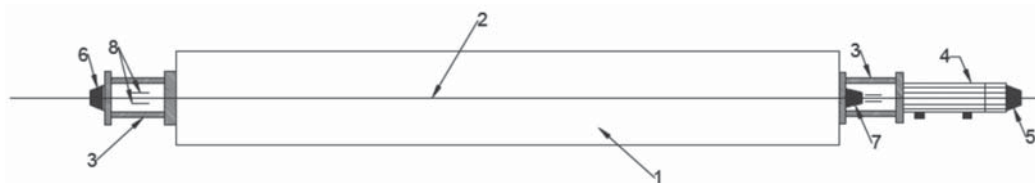


Рис. 1. Схема натяжения арматуры на ячеистый бетон:

- 1 – образец из ячеистого бетона;
- 2 – напрягаемая арматура  $\varnothing 5$  Вр-II (Вр1400);
- 3 – траверсы;
- 4 – домкрат проходной;
- 5 – зажим (снимается после натяжения арматуры);
- 6 – зажим постоянный;
- 7 – зажим (устанавливается после натяжения арматуры);
- 8 – тензодатчики для контроля натяжения.

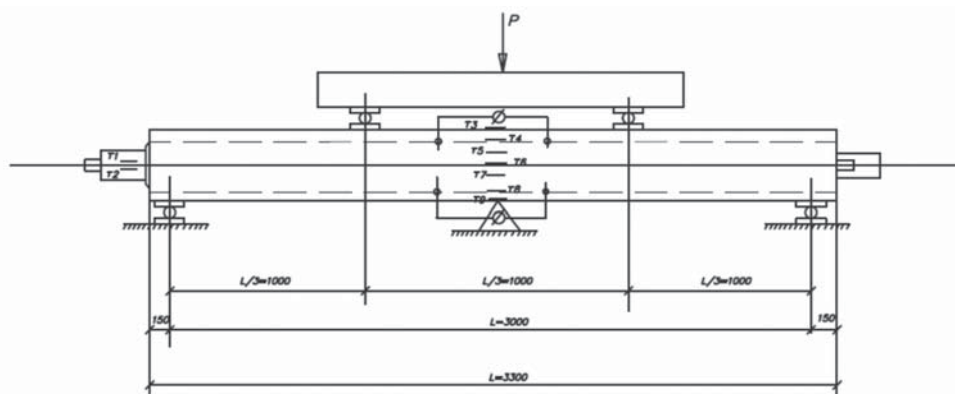


Рис. 2. Схема испытания балок

– промежуточная опора (убирается после натяжения арматуры и снятия показаний приборов);  
 T1, T2 – тензорезисторы на арматуре;  
 T3÷T9 – тензорезисторы на бетоне;  
 M1÷M4 – индикаторы на арматуре.

лического домкрата, зафиксированного на силовой раме. Схема испытания и общий вид при испытании опытных балок приведены на рис. 2 и 3.

Анализ результатов испытаний опытных балок со смешанным армированием показал, что предварительное обжатие способствует увеличению относительной высоты сжатой зоны бетона, которая, в свою очередь, обуславливает повышение трещиностойкости нормальных сечений (нагрузку при образовании трещин) и соответствующее уменьшение ширины раскрытия нормальных трещин. Трещиностойкость образцов балок повысилась в среднем на 20% по сравнению с эталонными образцами, а ширина раскрытия нормальных трещин сократилась в 2 и более раз.

Предварительное обжатие существенно повысило и прочность опытных балок.

В табл. 1 приведены опытные данные по прочности, трещиностойкости и прогибам опытных балок 1-й серии.

Прогибы образцов БН-1-1 и БН-1-2 с предварительным обжатием при одной и той же внешней нагрузке (изгибающем моменте) были несколько меньше, чем у образцов Б-1-1 и Б-1-2 без предварительного обжатия.

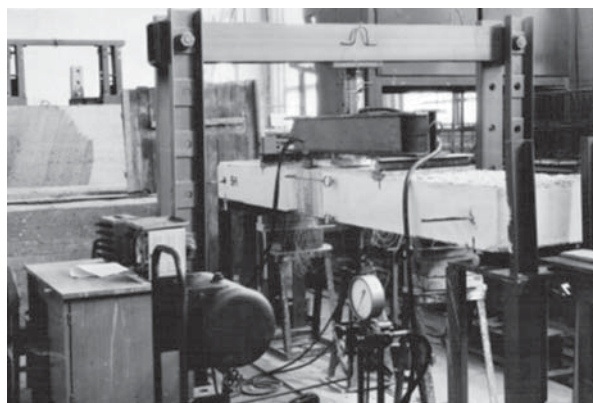


Рис. 3. Общий вид при испытании опытных балок

### Практическое применение предварительного напряжения конструкций из ячеистого бетона

В ПО «Запорожжелезобетон» были проведены испытания партии опытных предварительно напряженных ячеистобетонных стеновых панелей, изготовленных по чертежам НИИЖБ.

#### Краткая характеристика панелей.

Размеры: 0,25x1,2x6,0 м.

Материал: ячеистый бетон класса В 2,0 с маркой по средней плотности D700.

Опытные значения усилий, прогибов и ширины раскрытия трещин испытанных балок

Таблица 1

Марка опытной балки	Усилие обжатия, (кН)	Опытный разрушающий изгибающий момент $M_u$ , (кНм)	Момент трещинообразования, $M_{кр}$ , кНм	Прогиб балки, см при $M = 5,89$ кНм	Ширина раскрытия трещин, мм при $M = 5,89$ кНм
Б-1-1	–	8,09	3,73	1,7	0,3÷0,6
Б-1-2	–	7,36	4,12	1,7	0,25÷0,4
БН-1-1	24,525	9,91	4,71	1,2	0,05÷0,15
БН-1-2	16,19	9,56	4,71	1,0	0,1

Всего было испытано 3 панели. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 8829. Во время испытаний панели нагружались в горизонтальном положении (под углом 90° к рабочему положению). Прогибы измерялись прогибомерами Максимова, на торцах предварительно напряженных стержней устанавливались индикаторы часового типа для определения возможного сдвига арматуры относительно бетона.

#### Результаты испытаний.

Прогибы  $f$  при контрольной по жесткости нагрузке 250 кгс/м<sup>2</sup> (2,45 кПа):

панель № 1 –  $f_1 = 19,0$  мм;

панель № 2 –  $f_2 = 30,4$  мм;

панель № 3 –  $f_3 = 18,2$  мм.

Максимальная ширина раскрытия трещин  $a_{\text{крс}}$  при контрольной по трещиностойкости нагрузке 250 кгс/м<sup>2</sup> (2,45 кПа):

панель № 1 –  $a_{\text{крс}1} = 0,25$  мм;

панель № 2 –  $a_{\text{крс}2} = 0,35$  мм;

панель № 3 –  $a_{\text{крс}3} = 0,20$  мм.

Предельная нагрузка при загрузке панелей с коэффициентом перегрузки  $C = 1,4$  составила  $P_{\text{max}} = 490$  кгс/см<sup>2</sup>. При этом каких-либо признаков разрушения (исчерпания несущей способности) панелей отмечено не было.

#### Заключение по испытанию панелей:

1. Несущая способность испытанных панелей обеспечивается с коэффициентом перегрузки ГОСТ 8829  $C = 1,4$ ; разрушения не произошло.

2. Испытания панелей при контрольном нагружении по жесткости показали, что прогибы панелей не превышали предельно допустимую величину. Несколько бóльшая величина прогиба панели № 2 объясняется повреждениями в ее опорной части.

В целом установлено положительное влияние наличия предварительного напряжения на повышение жесткости и трещиностойкости испытанных стеновых панелей.

3. Проскальзывание арматуры в панелях, замеренное на их торцах в процессе испытания, не превысило 0,17 мм, что позволяет считать анкерровку преднапряженных стержней достаточной.

4. Результаты проведенных испытаний показали, что конструкция преднапряженных ячеистобетонных стеновых панелей и технология их изготовления могут быть рекомендованы к внедрению в производство.

#### Выводы и рекомендации

1. Проведенные исследования подтверждают возможность предварительного напряжения в конструкциях из автоклавного ячеистого бетона.

2. С увеличением процента армирования наблюдается снижение деформаций ползучести ячеистого бетона, которые могут определяться по формуле (5). При определении потерь предварительного напряжения в арматуре от ползучести ячеистого бетона в конструкциях со смешанным армированием следует учитывать наличие ненапрягаемой арматуры, а потери определять по формуле (7).

3. Предварительное обжатие изгибаемых ячеистобетонных элементов преднапряженной арматурой, заанкеренной на торцах элемента без сцепления с бетоном, позволяет повысить трещиностойкость, жесткость и прочность элементов. При этом усилие обжатия следует принимать в расчете как внешнюю сжимающую нагрузку, а сам расчет производить на внецентренное сжатие с эксцентриситетом равным  $e_p = M / N$ , где  $M = M_o + N \cdot e_p - N \cdot f$ , здесь  $f$  – прогиб элемента,  $e_p$  – начальный эксцентриситет.

4. Расчет прогибов и момента трещинообразования обжатых центрально и с малым начальным эксцентриситетом  $e_p$  изгибаемых ячеистобетонных элементов можно производить по методике СП 63.13330.2012 [8].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. НТО НИИЖБ «Испытать опытные образцы стеновых ячеистобетонных панелей с предварительно напряженной арматурой и разработать рекомендации по конструированию» № 11-16-1.1.4.2-87. – Москва, 1987.
2. Трамбовецкий, В.П. Исследование анкеровки арматуры и потерь предварительного напряжения в конструкциях из ячеистого бетона / Диссертация. – Москва, 1970.
3. Рекомендации по проектированию и изготовлению наружных стеновых панелей из автоклавного ячеистого бетона с предварительно напряженной стержневой арматурой для жилых зданий. – Москва, 1987.
4. Газиев, Ф.А. Деформативность элементов конструкций из автоклавного ячеистого бетона при действии длительной нагрузки и карбонизации / Диссертация. – Свердловск, 1988.
5. Куршпель, В.Х., Каширский, Ю.В. и др. Стеновые панели жилых домов из ячеистого бетона с предварительно напряженным армированием. – Бетон и железобетон, 1974.
6. Куршпель, В.Х., Макаричев, В.В., Филиппов, Б.П. Исследование преднапряженных стеновых панелей жилых из ячеистого бетона со смешанным армированием. – Бетон и железобетон, № 12. – 1985.
7. Гаврилина, И.В. Плиты покрытий из ячеистого бетона со смешанным армированием без сцепления напряженной арматуры с бетоном // Ячеистый бетон и ограждающие конструкции из него. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1985.
8. СТБ EN 12602-2009 «Сборные армированные элементы из ячеистого бетона» / Госстандарт. – Минск, 2009.
9. СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.

# ПРИМЕНЕНИЕ БАЗАЛЬТОВОЙ МИКРОФИБРЫ ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА



**Лаповская С.Д.,**  
д.т.н., зам. директора  
по научной работе  
ГП «НИИСМИ»  
(г. Киев, Украина)



**Лихвар Тарас,**  
н.с., ГП «НИИСМИ»  
(г. Киев, Украина)

**Аннотация.** В статье описаны поисковые исследования по армированию теплоизоляционного автоклавного газобетона базальтовой микрофиброй. Целью работы является получение автоклавного газобетона пониженной плотности с улучшенными характеристиками на растяжение при изгибе и на сжатие. Проанализированы первые полученные результаты применения базальтовой микрофибры для армирования ячеистого бетона плотностью 150 кг/м<sup>3</sup>.

**Ключевые слова:** автоклавный газобетон, армирование, микрофибра, базальт, прочность при изгибе.

Современные тенденции развития строительного комплекса все больше ориентированы на повышение конкурентоспособности, разработку и внедрение принципиально новых конструктивных решений, обеспечивающих ресурс- и энергосбережение, и, как следствие, высокие технико-экономические

показатели и потребительские качества зданий. Оптимизация расходов обеспечивается благодаря применению долговечных, прочных, высококачественных строительных материалов и системных решений. Кроме экономичности еще одним важным требованием потребителей является экологичность строительных материалов и изделий, которая может быть достигнута за счет использования для производства соответствующих материалов и соблюдения строгого технологического режима закрытого цикла.

Как известно, изделия, изготовленные из автоклавного ячеистого бетона (АЯБ), отличаются достаточно хорошей прочностью, высокой теплоизолирующей способностью и существенно влияют на экономию энергии, необходимой для отопления объектов при одновременном обеспечении здорового микроклимата в помещениях. Этот современный высокотехнологичный строительный материал наилучшим образом вписывается в условия сбалансированного развития как по процессу производства, так и применению [1–5].

В свете ужесточения норм к теплоизоляции стен и удорожания энергоносителей в Украине основной тенденцией потребления газобетона является снижение плотности стеновых блоков с сохранением прочностных характеристик продукции.

С целью повышения конкурентоспособности ячеистых бетонов в современных условиях актуальной задачей является дальнейшее улучшение физико-технических свойств этих материалов и создание энергосберегающих технологий их изготовления.

Одним из способов решения этой задачи на современном этапе развития бетоноведения является использование дисперсного армирования, улучшающего механические и физико-технические свойства бетона – долговечность, прочностные и эксплуатационные свойства [6].

В соответствии с [7] для широкого применения фибрового армирования в производстве

ячеистого бетона необходимо решить следующие вопросы:

- сохранность (стойкость и долговечность) каждого вида материала фибр в цементных, известковых, зольных и других растворах с различной степенью щелочности среды;
- влияние фибрового армирования на прочность ячеистого бетона при сжатии и растяжении при кратковременном и длительном воздействии нагрузок;
- влияние фибрового армирования на модули упругости и коэффициент поперечных деформаций;
- влияние фибрового армирования на усадку бетона в процессе термовлажностной обработки и в течение дальнейшего длительного времени, а также на морозостойкость ячеистого бетона;
- влияние на указанные выше свойства длины фибровых волокон (оптимальной длины волокон и их оптимального количества – дозировки);
- разработка распушителей и измельчителей волокон и смесителей для введения фибровых волокон в ячеистобетонные смеси (по данным [8] распушка волокон включает в себе потенциальные возможности улучшения свойств фибробетона, которые могут и должны быть реализованы именно в процессе приготовления смеси).

При использовании в ячеистом бетоне дисперсного армирования целесообразно использовать различную фибру: полипропиленовую, нейлоновую, полиэфирную, полиамидную, акриловую, полиэтиленовую, целлюлозную и др. Так, полипропиленовая фибра уже около 18 лет находит широкое применение в мире благодаря таким свойствам, как относительно высокий модуль упругости (до 8000 МПа), высокая химическая стойкость и прочность на растяжение (до 770 МПа), широкий температурный диапазон применения, неэлектропроводность и радиопрозрачность. Вопросы применения вышеуказанных видов фибры достаточно изучены и широко представлены в технической литературе.

Специалистами ГП «НИИСМИ» при поддержке ООО «АЕРОК» проведены поисковые исследования для определения возможности применения фибры из базальтового супертонкого волокна при производстве теплоизоляционного автоклавного газобетона плотностью 150 кг/м<sup>3</sup>.

Для исследований была использована базальтовая микрофибра «MAGMA MICROFIBER» производства ООО «Магма Индустрия» (г. Костополь, Украина). Это новая армирующая ми-

крофибра, предназначенная для создания 3D-армированных композиционных материалов. Микрофибра изготавливается на основе измельченного механическим способом базальтового супертонкого волокна «MAGMAWOOL», производимого с использованием индукционной плавки шихты при температуре порядка 2200 °С. Это позволяет полностью разрушить кристаллическую структуру всех порообразующих минеральных компонентов базальта. С помощью дутьевых головок, в одну стадию расплав перерабатывается в базальтовое супертонкое (1–3 микрона) волокно, характерной особенностью которого является полностью аморфная структура. Такие волокна обладают повышенной механической прочностью и гибкостью, большей химической и тепловой стойкостью по сравнению с волокнами из Е-стекла. Уменьшенная толщина волокон приводит к значительному возрастанию их удельной прочности по сравнению с базальтовым ровингом с диаметром волокна 13–15 мкм.

Визуально материал представляет собой мелкодисперсный порошок серо-бежевого цвета, состоящий из фрагментов базальтовых супертонких волокон (рис. 1). Длина фрагментов обусловлена способом и временем измельчения. Насыпная плотность порошка определяется степенью помола и находится в пределах 1,5–2 г/см<sup>3</sup>.

Базальтовая микрофибра «MAGMA MICROFIBER-M» содержит фрагменты волокон с длиной 25–120 мкм и до 10–20% мелкодисперсных частиц неправильной формы с линейными размерами 0,1–0,5 мкм. Фракции «MAGMA MICROFIBER-25», «MAGMA MICROFIBER-50» и «MAGMA MICROFIBER-75» имеют среднюю длину микроволокон 25, 50 и 75 мкм соответственно. Количество мелкодисперсной фракции 0,1–0,5 мкм в этих материалах меньше примерно в десять раз. Микрофибра «MAGMA MICROFIBER-Zr» на основе базальта, модифицированного силицидом циркония, отличается повышенной химической стойкостью.



Рис. 1. Базальтовая микрофибра «MAGMA MICROFIBER»

Таблица 1

**Химический состав базальтовых супертонких волокон**

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
51,56	15,49	10,43	4,42	8,5	5,22	0,2	2,1	2,08

Таблица 2

**Технические характеристики базальтовых супертонких волокон**

Свойства	Параметр	Единица измерения
Средний диаметр волокна, не более	2	мкм
Массовая доля неволоконистых включений «корольков» размером свыше 0,25%	до 4,8	%
Плотность	от 30 до 125	кг/м <sup>3</sup>
Коэффициент теплопроводности, не более:		
при (25±5) °С	0,034	Вт/м·К
при (125±5) °С	0,054	Вт/м·К
при (300±5) °С	0,098	Вт/м·К
Коэффициент звукопоглощения для частот от 100 до 2000 Гц	0,95–0,99	-
Температурный интервал применения	-269...+900	°С
Температура спекания волокон	+1100	°С
Гигроскопичность	0,2–0,3	%
Горючесть	НГ (не горючий)	
Модуль кислотности	4,8–5,2	-
Массовая доля влаги, не более	0,8	%
Массовая доля паров хлора, не более	0,03	%
Химическая устойчивость (потеря веса в % при 3-часовом кипячении):		
в воде	0,6	%
в щелочной среде	2,75	%
в кислотной среде	2,2	%
Выщелачиваемость в пересчете на Na <sub>2</sub> O на 5000 см <sup>3</sup> , не более	5,0	%
Наличие связующего	нет	
Выделение вредных веществ	нет	

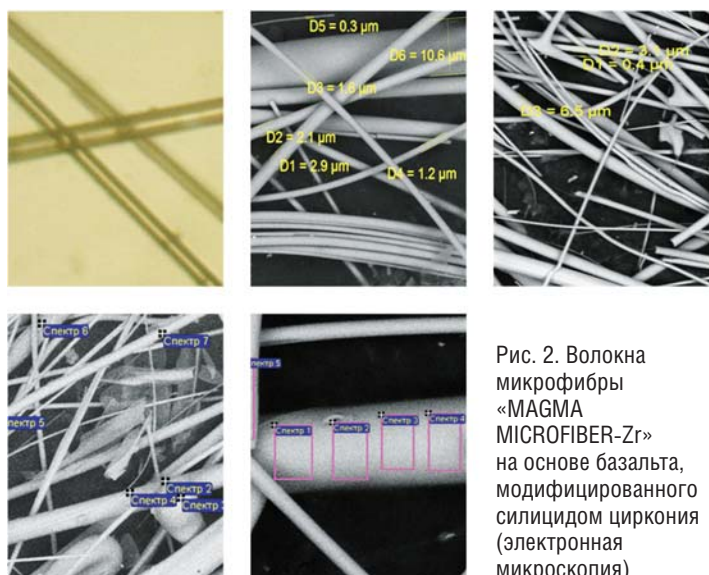


Рис. 2. Волокна микрофибры «MAGMA MICROFIBER-Zr» на основе базальта, модифицированного силицидом циркония (электронная микроскопия)

Микрофибра «MAGMA MICROFIBER» является негорючим и экологически чистым материалом из природного сырья. Она обладает низкой теплопроводностью и полностью прозрачна для электромагнитных волн. Электропроводность материала на порядок ниже, чем у стекловолокон. Уменьшенный диаметр микрофибры приводит к существенному увеличению площади ее удельной поверхности. Этот фактор положительно сказывается на энергии сцепления волокон и матрицы при создании композиционных материалов. Химический состав и технические характеристики базальтовых супертонких волокон приведены в табл. 1 и 2.

Анализ микроморфологии образцов базальтовой фибры (рис. 2) проводили с использованием растрового электронного микроскопа Tescan Mira 3 LMU (Tescan, Чехия).

Таблица 3

**Физико-механические характеристики образцов автоклавного газобетона**

Образец	Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Прочность на растяжение при изгибе, МПа
1	2	3	4
Контрольный	154,7	0,391	0,104
Армированный микрофиброй при содержании фибры, % от массы сухих компонентов:			
«MAGMA MICROFIBER-M»			
0,1	153,9	0,394	0,105
0,2	154,4	0,398	0,108
0,3	154,8	0,401	0,110
«MAGMA MICROFIBER-25»			
0,1	155,0	0,396	0,107
0,2	155,3	0,407	0,112
0,3	154,6	0,415	0,114
«MAGMA MICROFIBER-50»			
0,1	153,5	0,399	0,107
0,2	154,2	0,412	0,118
0,3	155,0	0,417	0,121
«MAGMA MICROFIBER-75»			
0,1	155,0	0,413	0,111
0,2	155,2	0,419	0,120
0,3	155,5	0,425	0,128
«MAGMA MICROFIBER-Zr»			
0,1	153,6	0,409	0,108
0,2	154,1	0,416	0,113
0,3	154,8	0,423	0,125

Диаметр волокон находился в пределах 0,3–3,4 мкм. Поверхность волокон довольно гладкая, без особых изъянов и раковин, структура достаточно однородная [9].

Были изготовлены образцы теплоизоляционного автоклавного газобетона марки по средней плотности D150 контрольного состава и армированные базальтовой микрофиброй марок «MAGMA MICROFIBER-M», «MAGMA MICROFIBER-25», «MAGMA MICROFIBER-50», «MAGMA MICROFIBER-75» и «MAGMA MICROFIBER-Zr». Содержание микрофибры составило 0,1%, 0,2% и 0,3% от массы сухих компонентов сырьевой смеси. Расход вяжущих, кремнеземистого компонента, газообразователей и модифицирующих добавок – в соответствии с принятой рецептурой ООО «АЕРОК». Результаты определения фи-

зико-механических характеристик полученных образцов автоклавного газобетона приведены в табл. 3.

Полученные экспериментальные данные подтверждают перспективность использования базальтовой микрофибры для армирования теплоизоляционного автоклавного газобетона. В сравнении с контрольными образцами увеличение прочности при сжатии составило от 7 до 9%, прочности на растяжение при изгибе – от 1 до 20% соответственно. Образцы, армированные фиброй «MAGMA MICROFIBER-75» и «MAGMA MICROFIBER-Zr», показали более высокий результат в сравнении с образцами, армированными фиброй «MAGMA MICROFIBER-M», «MAGMA MICROFIBER-25» и «MAGMA MICROFIBER-50».

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Кацынель, Р.Б. Особенности проектирования объектов с наружными ограждающими конструкциями из ячеистого бетона / Р.Б. Кацынель – Мн.: Архитектура и строительство. – 2008. – № 7.
2. Рыхленок, Ю.А. Стены из газосиликатных блоков в зданиях со стеновой несущей системой / Збірник «Будівельні матеріали, виробі та санітарна техніка» // Випуск 54. – Киев, 2015. – С. 129–135.
3. European Union's policy and regulatory perspectives on sustainable construction / Vicente Leoz-Argüelles / 5th International Conference on AAC «Securing a sustainable future». – Poland, Bydgoszcz, September 14-17, 2011, UTLS.
4. Promoting AAC solutions for sustainable construction challenges in Europe / Jos Cox/5th International Conference on AAC «Securing a sustainable future». – Poland, Bydgoszcz, September 14-17, 2011, UTLS.
5. Zapotoczna-Sytek G., Balkovic S. Autoklawizowany beton komórkowy. Technologia – Właściwości – Zastosowanie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Stowarzyszenie Producentów Betonu - Warszawa 2013.
6. Степанова, В.Ф. Применение дисперсного армирования в конструкциях из ячеистого бетона / В.Ф. Степанова, В.И. Савин, В.Н. Строцкий, Р.Г. Квачадзе, Е.В. Бойко // Современный автоклавный газобетон: сборник докладов науч.-практ. конференции, 22–24 ноября 2017 г., г. Екатеринбург. – С. 63–68.
7. Макарычев, В.В. О ячеистом бетоне, армированном волокнами // Сб. НИИЖБ Госстроя СССР «Фибробетон и его применение в строительстве». – М., 1979.
8. Пухаренко, Ю.В. Особенности технологии ячеистого фибробетона. – «Весь бетон», 2014.
9. Чувашов, Ю.Н. Цирконийсодержащие волокна на основе горных пород базальтоподобного состава / Ю.Н. Чувашов, Г.Ф. Горбачев, О.М. Яценко, Е.И. Зубко, Ю.Е. Зубко, А.А. Фомичев, С.Д. Черюканов, Н.А. Скорик // Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья: Доклады XI Всероссийской научно-практической конференции 6–8 июня 2012 г., Бийск. – БТИ АлтГТУ, 2012. – С. 14–17.

# ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ И ВЛАЖНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

**Гарнашевич Г.С.,**  
к.т.н.,  
ГП «Институт НИИСМ»  
(г. Минск, Беларусь)

**Губская А.Г.,**  
к.т.н.,  
ГП «Институт НИИСМ»  
(г. Минск, Беларусь)

**Власенко Ж.Н.,**  
вед. инженер,  
ГП «Институт НИИСМ»  
(г. Минск, Беларусь)

**Ясинская Н.С.,**  
ГП «Институт НИИСМ»  
(г. Минск, Беларусь)

**Сажнев Н.П.,**  
к.т.н., ст. науч. сотр.  
(г. Минск, Беларусь)

**Лоско В.В., Лоско А.В.,**  
ООО «СлаВикСа»  
(г. Минск, Беларусь)

Основным направлением современной технической политики в области строительства является энерго- и ресурсосбережение, обусловленное необходимостью экономии энергоресурсов при производстве строительных материалов и сбережения всех видов энергии при эксплуатации зданий и сооружений различного функционального назначения.

Состояние мировой энергетики обусловило высокие требования к теплозащитным свойствам зданий и сооружений. Проблема топливно-энергетических ресурсов особенно важна в настоящее время, когда расходы на содержание зданий при постоянно растущей стоимости энергоносителей в основном определяются расходами на отопление и кондиционирова-

ние и составляют примерно 20–30% всех потребляемых в народном хозяйстве энергетических ресурсов.

Наиболее перспективным строительным материалом в сложившейся ситуации является ячеистый бетон, эффективность которого как стенового материала подтверждена строительной практикой [1].

Практически столетний опыт производства и исследований ячеистых бетонов автоклавного твердения, проектирования, строительства и эксплуатации зданий различного функционального назначения на их основе показал, что полученный при строгом соблюдении всех требований технологического процесса ячеистый бетон представляет собой высококачественный строительный материал, занимающий по экологичности 3-е место по 20-бальной шкале, удовлетворяющий таким основным требованиям, как экологичность, высокие теплозащитные свойства, долговечность, огнестойкость при достаточно низкой стоимости и ресурсоемкости.

Ячеистый бетон, обладая высокими теплозащитными свойствами и теплоаккумулирующей способностью, предотвращает значительные потери тепла зимой и позволяет избежать слишком высоких температур летом, исключает резкие колебания температуры в помещениях, что обуславливает благоприятный микроклимат и комфортность для жизнедеятельности людей.

В настоящее время современная строительная концепция предусматривает обязательное создание гармоничной среды обитания человека, это относится не только к архитектурному облику вновь возводимых и действующих зданий, но и к общему виду всех коммуникаций.

В строительном комплексе Республики Беларусь ячеистый бетон автоклавного твер-



дения прочно занимает одно из ведущих мест, широко применяется не только в массовом строительстве, но и при сооружении уникальных объектов, таких как Национальная библиотека Беларуси, где использованы как блоки из ячеистого бетона, так и армированные стеновые панели.

При наличии собственной сырьевой базы и развитого производства, оснащенного современным технологическим оборудованием, производство ячеистого бетона автоклавного твердения стало одним из самых динамично развивающихся отраслей промышленности строительных материалов Республики Беларусь. В настоящее время автоклавный ячеистый бетон представляет собой стратегический строительный материал.

Учитывая преимущества изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения перед другими строительными материалами в Республике Беларусь мощности по производству ячеистого бетона созданы практически во всех основных регионах страны (рис. 1).

После введения с 01.07.2009 г. повышенных требований к сопротивлению теплопередаче наружных ограждающих конструкций ячеистый бетон с учетом его теплофизических и эксплуатационных свойств остался практиче-

ски единственным строительным материалом, который обеспечивает выполнение нормативных требований строительной теплотехники и может автономно использоваться в практике строительства [2–5].

Ячеистый бетон представляет собой систему, которая уникальным образом обладает основными преимуществами, отвечающими современным требованиям к строительным стеновым материалам. Это подтверждено огромным количеством исследовательских работ, посвященным процессу управления структурообразованием, морозостойкости, трещиностойкости при влагообменных и карбонизационных процессах, использованию различного рода добавок, аспектам эксплуатационной надежности, теплофизическим свойствам материала, выполненным более чем за столетний период развития науки о нем. Ячеистый бетон автоклавного твердения и до настоящего времени является предметом постоянных исследований.

В свое время основными направлениями развития материально-технической базы Республики Беларусь ячеистобетонные изделия были определены главным стеновым материалом, что обосновано результатами выполненных Государственным предприятием



Рис. 1. Карта размещения мощностей по выпуску ячеистого бетона в Республике Беларусь

«Институт НИИСТ» многолетним как лабораторных, так и натуральных исследований по определению его теплофизических свойств.

Ячеистый бетон обладает высокой стойкостью к сверхнизким температурам. Исследованиями образцов ячеистого бетона автоклавного твердения плотностью 700,0–600,0 кг/м<sup>3</sup> производства предприятий Республики Беларусь установлено, что после 15 циклов переменного замораживания при температуре –156 °С и оттаивания при температуре –20 °С (Т.А. Ухова, г. Москва НИИЖБ) снижение прочности от циклического воздействия сверхнизких температур составило в среднем 10,5% [6].

Отвечающий всем требованиям действующих в настоящее время ТНПА по теплофизическим свойствам, обладая высокой стойкостью к сверхнизким температурам и, несмотря на особенности своего структурного строения, ячеистый бетон автоклавного твердения отличается достаточно высокой способностью как поглощать, так и отдавать поглощенную им влагу в окружающую среду. В результате лабораторных исследований, выполненных ГП «Институт НИИСТ», установлено, что у образцов ячеистого бетона автоклавного твердения плотностью 500,0–700,0 кг/м<sup>3</sup>, увлажненных до 53,0–62,0% по массе, за 150 суток в среде с относительной влажностью воздуха 52,0–55,0% установившееся равновесное влагосодержание не превышало 5% по массе. Эксплуатационная влажность ячеистого бетона составляет 4,0% по массе для условий эксплуатации А и 5,0% по массе для условий эксплуатации Б и устанавливается за 1–2 года эксплуатации [6].

Долговечность и стойкость ячеистого бетона автоклавного твердения во влажных климатических условиях убедительно представлена на примере группы отапливаемых зданий, построенных в Риге в 1939 г. без устройства наружной защитно-декоративной отделки [7, 8]. За прошедшие десятилетия до настоящего времени признаков разрушения бетона в конструкциях не появилось.

Изготовленный при строгом соблюдении всех требований технологического процесса ячеистый бетон автоклавного твердения *обуславливает и достаточно высокий уровень культуры производства строительных работ и условий эксплуатации.*

По всей вероятности, эксплуатационная влажность ячеистого бетона в соответствии с требованиями действующих нормативных документов по строительной теплотехнике, составлявшая для условий эксплуатации А и Б

соответственно 8,0–12,0% по массе в сочетании с низкой культурой производства строительных работ обусловила в свое время негативное отношение к ячеистому бетону со стороны как проектных, так и строительных организаций, хотя прямое попадание влаги в конструктивные элементы из любого строительного материала приводит к различного рода разрушениям.

В связи с создавшимся положением в вопросе нормирования эксплуатационной влажности ячеистого бетона автоклавного твердения специалистами ГП «Институт НИИСТ» выполнен комплекс многолетних исследований по определению величины эксплуатационной влажности как в лабораторных, так и в натуральных условиях. Эксплуатационная влажность в лабораторных условиях определялась на основании результатов экспериментального определения сорбционной влажности по известным зависимостям; в натуральных условиях – как на фрагментах стеновых ограждений, так и на натуральных жилых объектах с различным сроком эксплуатации в Гродно, Сморгони и Могилеве. Величина эксплуатационной влажности, полученная на натуральных объектах, не превышала 5,0% по массе.

На основании полученных результатов было разработано Изменение, установившее для ячеистого бетона плотностью 700–300 кг/м<sup>3</sup> величину эксплуатационной влажности для условий эксплуатации А и Б соответственно 4,0 и 5,0% по массе, что позволило снизить величину расчетной теплопроводности ячеистого бетона автоклавного твердения в среднем на 23%.

Фактическая величина эксплуатационной влажности ячеистого бетона автоклавного твердения в наружных стеновых ограждениях отапливаемых зданий через 3 года эксплуатации, полученная по результатам исследований НИИЖБ, ЦНИИЭП жилища и ЛенЗНИИЭП, составляет 5,0% по массе в климатических условиях Санкт-Петербурга и 4,2% по массе для Москвы, что корреспондируется с результатами ГП «Институт НИИСТ» и основных зарубежных фирм по производству ячеистого бетона автоклавного твердения.

По итогам выполненного ГП «Институт НИИСТ» комплекса экспериментальных исследований по определению эксплуатационной влажности строительных материалов установлено, что расчетное массовое отношение влаги в материале при условиях эксплуатации равно значению сорбционной влажности материала при относительной влажности воздуха 75% для условий эксплуатации А и значению сорбционной влажности материала при

относительной влажности воздуха 90% для условий эксплуатации Б.

Разработанная и утвержденная методика определения эксплуатационной влажности строительных материалов в виде Изменения введена в действие в Республике Беларусь с 01.01.2004 г. приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь № 179 от 10 сентября 2003 г. и внесена в обязательное приложение А «Теплотехнические показатели строительных материалов (примечание, п. 4) ТКП 45-2.04-43-2016 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования».

Следует отметить, что фасады ограждающих конструкций в зданиях и сооружениях различного функционального назначения, выполненных из ячеистого бетона автоклавного твердения, как правило, отделываются различными защитно-декоративными покрытиями с использованием различного рода сухих строительных смесей.

В этой связи в настоящее время в очередной раз в Республике Беларусь сложилась негативная ситуация по обеспечению эксплуатационной надежности и долговечности жилых домов (особенно малоэтажных) с несущими и самонесущими конструкциями стен из ячеистого бетона автоклавного твердения.

В результате выполненных обследований наружных стеновых ограждений из ячеистого бетона с различного рода отделочными покрытиями обнаружены существенные дефекты, требующие проведения комплекса восстановительных мероприятий, в том числе и усиления конструкций (рис. 2, 3).

Из анализа дефектов, возникающих в процессе эксплуатации системы: защитно-отделочное покрытие – ячеистый бетон автоклавного твердения следует, что наиболее распространенным является трещинообразование в виде сетки трещин с шириной раскрытия до 1,0 мм по защитно-декоративному по-



г. Минск



Минский р-н

Рис. 2. Фрагменты стеновых ограждающих конструкций с различными видами разрушений



Рис. 3. Фрагменты стеновых ограждающих конструкций с различными видами разрушений, д. Чисть

крытию и кладке стен, а также отслаивание защитно-декоративного покрытия, как правило, вместе со слоем ячеистого бетона.

Указанные виды разрушений вызваны как нарушением технологии производства строительных работ, так и использованием в качестве отделок различных защитно-отделочных покрытий с низкой паропроницаемостью с последующей покраской, что в конечном итоге приводит к разрушению не только самого покрытия, но и бетона под покрытием в период эксплуатации зданий, а также появлению грибков и плесени на внутренних поверхностях стен. Как показали проведенные исследования, влагосодержание ячеистого бетона в наружных стенах под защитно-отделочным покрытием после 5–10 лет эксплуатации в отдельных случаях составляет 20–40% по массе, что не только вызывает разрушение кладки, но и значительно снижает теплозащитные

свойства ограждающих конструкций. В ряде заключений о причинах возникновения дефектов на стенах из ячеистого бетона автоклавного твердения (г. Минск) отмечается, что «в период эксплуатации в связи с отделкой наружных и внутренних поверхностей стен покрытиями с низкой паропроницаемостью происходило только накопление влаги».

Ячеистый бетон автоклавного твердения наряду с низкой теплопроводностью обладает достаточно высокой паропроницаемостью (ТКП 45-2.04-43-2006). Однако в указанном документе отсутствуют требования к сухим смесям на полимерной основе. В соответствии с требованиями СТБ 1307-2012 (п. 5.3.10) и СТБ 1263-2001 (п.5.2-5.4) паропроницаемость растворов должна соответствовать требованиям, приведенным в нормативно-технической или проектной документации и быть не менее 0,02 мг/(м·ч·Па).

В настоящее время в практике строительства в качестве защитно-отделочных покрытий применяются материалы с низкими показателями паропроницаемости, в среднем на порядок ниже паропроницаемости ячеистого бетона, создающие условия для систематического накопления влаги в стеновых ограждениях в процессе эксплуатации, что обуславливает преждевременное разрушение конструкций с наружной стороны, а также появление грибов и плесени на внутренних поверхностях.

В зарубежной строительной практике для отделки поверхностей стен из ячеистого бетона автоклавного твердения широко применяется цементно-известково-песчаная штукатурка для мелких блоков. Для внутренней отделки в абсолютном большинстве применяются известково-песчаные или цементно-известково-песчаные растворы в виде штукатурки при кладке стеновых ограждений из блоков.

Несмотря на широкое применение ячеистого бетона в строительном комплексе Республики Беларусь вопрос защитно-отделочных покрытий наружных ограждающих конструкций до настоящего времени не имеет конкретного решения, хотя одним из основных теплофизических показателей любого отделочного покрытия является паропроницаемость, не учет которого в абсолютном большинстве становится причиной различного рода разрушений [9–12].

Одним из основных условий устранения дефектов, возникающих в процессе эксплуатации наружных стеновых ограждений из ячеистого бетона автоклавного твердения, является разработка и использование как защитно-отделочных покрытий в виде толстослойных или тонкослойных штукатурок, так и фасадных покрытий с повышенной паропроницаемостью.

Как декоративные, так и защитные покрытия должны выполнять две основные функции, которые заключаются в том, что, с одной стороны, они должны препятствовать проникновению влаги любого агрегатного состояния вовнутрь стенового ограждения, с другой стороны, не являться сдерживающим фактором для отдачи влаги наружными слоями ограждения в окружающую среду.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ван Боггелен, В.М. Вклад ячеистого бетона автоклавного твердения в надежное будущее (Нидерланды) // 5-я Международная конференция по ячеистому бетону автоклавного твердения. – Польша, 2011.
2. Шок, Т. Строительство энергосберегающих домов с использованием ячеистого бетона автоклавного твердения в различных климатических условиях Европы (Германия) // 5-я Международная конференция по ячеистому бетону автоклавного твердения. – Польша, 2011.
3. Автоклавный ячеистый бетон. – М.: Стройиздат, 1981.
4. Геллерс, Бо Дж., Шмидт, Бо Р. Ячеистый бетон автоклавного твердения – история легкого материала (Швеция) // 5-я Международная конференция по ячеистому бетону автоклавного твердения. – Польша, 2011.
5. Рыбаржук, Т. Ячеистый бетон автоклавного твердения – материал, обладающий огромным потенциалом: примеры зданий из ячеистого бетона автоклавного твердения, построенных в Польше // 5-я Международная конференция по ячеистому бетону автоклавного твердения. – Польша, 2011.
6. Пинскер, В.А., Вылегжанин, В.П. Газобетон в жилищном строительстве с максимальным его использованием // Ячеистые бетоны в современном строительстве. Сборник докладов. Выпуск 5. – Санкт-Петербург: НП «Межрегиональная северо-западная строительная палата», Центр ячеистых бетонов, 2008. – С. 10–32.
7. Гринфельд, Г.И. Инженерные решения обеспечения энергоэффективности зданий. Отделка кладки из автоклавного газобетона. – Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2011 г.
8. Гаевой, А.Ф., Качура, Б.А. Качество и долговечность ограждающих конструкций из ячеистого бетона. – Харьков, «Виша школа», 1978. – 224 с.
9. Гринфельд, Г.И. Руководство по отделке АЕRC. – Санкт-Петербург, 2012. – 40 с.
10. Сажнев, Н.П., Гончарик, В.Н., Гарнашевич, Г.С., Соколовский, Л.В. Производство ячеистобетонных изделий. Теория и практика. – Мн.: Стринко, 1999. – 283 с.
11. СТО 501-52-01-2007 Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий из ячеистых бетонов в Российской Федерации // Ассоциация Строителей России. – Москва, 2008. – 44 с.
12. Руководство по наружной отделке стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения // Ассоциация НААГ. – Белгород, 2010. – 10 с.

# ПУТИ СУШКИ ГАЗОСИЛИКАТНЫХ БЛОКОВ



**Кузьменков М.И.,**  
 Заслуженный деятель науки  
 Республики Беларусь, д.т.н.,  
 проф. УО «Белорусский  
 государственный  
 технологический  
 университет  
 (г. Минск, Беларусь)



**МартинOV О.Г.,**  
 науч. сотр. ГНУ «Институт  
 тепломассообмена» НАН Б  
 (г. Минск, Беларусь)

## Введение

К настоящему времени технология производства изделий из ячеистого бетона достаточно хорошо отработана [1] и они широко применяются в строительной отрасли Республики Беларусь вследствие их высоких технико-экономических показателей [2]. К сожалению, из-за ошибок в проектировании и нарушений культуры производства происходит снижение качества наружных ограждающих конструкций возводимых зданий и сооружений с использованием изделий из ячеистого бетона [3]. Одной из причин этих негативных явлений является повышенная влажность эксплуатируемых конструкций из ячеистого бетона. В качестве одной из мер по увеличению климатической долговечности наружных конструкций из ячеистого бетона предлагается [4] предварительная сушка газосиликатных блоков.

## Постановка задачи

В настоящей работе с целью устранения технологических простоев и уплотнения графика строительных работ рассматривается возможность сушки изделий из ячеистого бетона непосредственно на месте их изготовления.

Как известно, финишной стадией производства блоков из ячеистого бетона является автоклавирование. По существующей технологии процесс химико-термической обработки блоков в автоклаве осуществляется в среде насыщенного пара при температуре 183–185 °С и давлении 1,0–1,1 МПа. По завершению процесса давление в автоклаве снижается (перед разгрузкой) и блоки выгружаются.

В технологическом плане сушку изделий предлагается производить в том же автоклаве по завершению режима химико-термической обработки.

В пределах поставленной задачи рассмотрим возможность использования в качестве сушильного агента перегретого водяного пара, а также горячего воздуха.

На основании выполненных исследований [5,6] полагается, что влажность высушенных изделий не должна превышать их сорбционной влажности, составляющей в среднем 12%.

В качестве примера рассмотрим показатели, характерные для типичного производства.

Изделия к началу процесса сушки будут уже предварительно прогреты до температуры сушки  $t_{м.0} = 180$  °С, что приблизительно равно температуре насыщенного пара, подаваемого в автоклав в процессе их химико-термической обработки.

Для определения экономичности процесса будем считать, что изделия к окончанию сушки имеют температуру  $t_{м.в.в.х} = t_{в.в.х} = 110$  °С.

В процессе сушки в автоклав подается сушильный агент, который испаряет влагу из блоков. Образующаяся смесь испаренной влаги и исходного сушильного агента из автоклава направляется для использования в других

целях, а изделия выгружаются. Температура этой смеси в процессе сушки снижается до  $t_{\text{Вых}} = 110$  °С. Давление сушильного агента в автоклаве поддерживается на уровне 0,1 МПа. Отсутствие избыточного давления в автоклаве в период сушки исключает утечки пара.

При конвективной сушке сушильный агент должен подаваться с температурой и расходом, достаточным для нагрева и испарения влаги. Также внутри автоклава смесь испаренной влаги и исходного сушильного агента должна иметь скорость движения, достаточную для надлежащей интенсивности сушки.

### Теплотехнические расчеты

Расчеты выполнялись согласно общепринятой методологии, отраженной, например в [7–10]. Как известно, материал можно высушить только в том случае, если парциальное давление паров жидкости в приповерхностной зоне материала будет больше парциального давления паров в ядре смеси испаренной влаги и сушильного агента. Для того, чтобы сушильный агент был в состоянии удалить влагу за пределы высушиваемого материала необходимо исключить возможность конденсации влаги в смеси паров испаренной влаги с сушильным агентом.

Сушильный агент испаряет влагу из материала посредством тепла, которое он содержит, а пары испаренной влаги удаляет за счет своего физического объема, которое он занимает.

В начале сушки из-за разности парциальных давлений водяных паров на поверхности изделия и в окружающей сушильной среде влага начинает испаряться с поверхности материала. Из-за перепада влагосодержания в нем появляется поток влаги от центра к периферии. Если пары внутри изделия не успевают удаляться, может иметь место его разрыв от избыточного давления. Поэтому интенсивность сушки не должна превышать критических значений. Сушка прекращается, когда влагосодержание во всех блоках достигает значения их равновесия с окружающей средой.

При выгрузке изделий с остаточным влагосодержанием ниже их равновесного значения в цеху в последующем может иметь место образование в изделиях трещин за счет поглощения влаги из воздуха и неравномерного распределения ее по объему изделий.

В соответствии с установленными требованиями равновесная влажность материала изделий из ячеистого бетона в эксплуатационных, специальным образом обеспечиваемых условиях не должна превышать 4%. Однако известно, что в зимних условиях равновесная влажность материала в воздушной среде мо-

жет достигать и 12%. Поэтому, если влажность материала изделий по завершению в них реакций при обработке в автоклаве достигает значений 35%, то последующую их сушку до выгрузки следует производить до влажности 12%, что гарантирует надлежащее качество изделий в процессе их производства. Отгрузка изделий и их доставка потребителю при обеспечении надежной упаковки, исключающей увлажнение изделий, будет являться одним из важнейших факторов, обеспечивающих надлежащее качество строительства.

В качестве примера рассмотрим типовой блок ячеистого бетона длиной  $L_{\text{бл}} = 625$  мм; шириной  $A_{\text{бл}} = 500$  мм и высотой  $B_{\text{бл}} = 249$  мм. Объем блока будет равен  $V_{\text{бл}} = L_{\text{бл}} A_{\text{бл}} B_{\text{бл}} = 0,0778125$  м<sup>3</sup>, площадь наружной поверхности блока  $S_{\text{бл}} = 2 (A_{\text{бл}} L_{\text{бл}} + B_{\text{бл}} L_{\text{бл}} + A_{\text{бл}} B_{\text{бл}}) = 1,185$  м<sup>2</sup>, а условный расчетный эффективный размер блока

$$R_{\text{бл.эфф}} = \sqrt{\frac{S_{\text{бл}}}{6}} = \sqrt{\frac{1,185}{6}} = 0,444 \text{ м.}$$

Следует принимать во внимание при расчетах показателей, что при термической обработке объем изделий практически не меняется (только в пределах усадки, составляющей несколько процентов), в отличие от их массы и, следовательно, и их плотности, сильно зависящей от степени их увлажнения.

Для стеновых блоков расчетная плотность материала блока стандартного изделия (подразумевается по сухому скелету с нулевой относительной влажностью  $W_{\text{б.сух}} = 0\%$ ) принимается

$$\rho_{\text{м.сух}} = 500 \text{ кг/м}^3.$$

Определим количество тепла, требуемое для сушки изделий с начальной влажностью  $W_{\text{нач}} = 35\%$  до конечной  $W_{\text{кон}} = 12\%$ .

Влага в материале сначала в жидком виде нагревается до температуры кипения в объеме материала  $t_{\text{кип}}$ , затем кипит в объеме материала  $t_{\text{кип}}$ , после чего нагревается в среднем до температуры смеси испаренной влаги и исходного сушильного агента в автоклаве  $t_{\text{см}}$ .

Вначале влажный материал с исходным влагосодержанием

$$x_{\text{вл.м.0}} = \frac{W_{\text{нач}}}{1 - W_{\text{нач}}} = 0,538 \text{ кг влаги/кг сухого скелета}$$

материала имеет температуру  $t_{\text{м.0}} = 180$  °С.

Принимается, что высушенный материал вместе с остаточной влагой в количестве

$$x_{\text{вл.м.вых}} = \frac{W_{\text{нач}}}{1 - W_{\text{нач}}} = 0,136 \text{ кг влаги/кг сухого скелета}$$

материала удаляется из автоклава с температурой  $t_{\text{м.вых}} = t_{\text{вых}} = 110$  °С.

Количество удаляемой из материала влаги, приходящейся на 1 кг сухого материала (скелета) равняется

$$X_{\text{вл.уд}} = X_{\text{вл.м.0}} - X_{\text{вл.м.вых}} = 0,402 \text{ кг удаляемой влаги/кг скелета сухого материала.}$$

Коэффициент средней удельной теплоемкости сухого материала изделия согласно [11] при температуре в диапазоне от  $t_{\text{м.0}}$  до  $t_{\text{м.сух}}$  составляет

$$c_{\text{м.сух}} = 0,84 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}.$$

Коэффициент средней удельной теплоемкости влаги в жидком виде при температуре в диапазоне от  $t_{\text{м.0}}$  до  $t_{\text{вых}}$  составляет  $c_{\text{ж}} = 4,22 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$ .

Удельная энтальпия (теплосодержание) паров влаги в удаляемом количестве при температуре  $t_{\text{вых}}$  и давлении 0,1 МПа равна [12]  $i_{\text{п.вых}} = 2696,7 \text{ кДж/(кг удаляемой влаги)}$ .

Суммарное количество теплоты (удельной на кг сухого материала), требующееся для сушки материала будет равно

$$Q_{\text{суш.м}} = c_{\text{м.сух}}(t_{\text{м.вых}} - t_{\text{м.0}}) + X_{\text{вл.м.вых}} c_{\text{ж}}(t_{\text{вых}} - t_{\text{м.0}}) + X_{\text{вл.уд}}(i_{\text{п.вых}} - c_{\text{ж}} t_{\text{м.0}}) = 679,74 \text{ кДж/ (кг скелета сухого материала).}$$

Суммарное количество теплоты (удельной на кг удаляемой влаги), требующееся для сушки материала будет равно

$$Q_{\text{суш.уд.вл}} = Q_{\text{суш.м}} / X_{\text{вл.уд}} = 679,74 / 0,402 = 1690,9 \text{ кДж/(кг удаляемой влаги).}$$

### Сушка перегретым паром

Известно успешное использование перегретого пара в качестве сушильного агента для конвективной сушки сырья и изделий при производстве строительных материалов [13].

Рассмотрим возможность сушки изделий из ячеистого бетона перегретым паром.

С целью снижения энергозатрат на предварительный разогрев блоков процесс их сушки осуществим в том же автоклаве сразу же по завершению химико-термической обработки, изменив параметры подаваемого в автоклав пара с насыщенного на перегретый. Для этого следует подавать в автоклав пар, перегретый до температуры пара  $t_{\text{п.вх}} = 220 \text{ °C}$  при давлении  $p_{\text{п.вх}} = 0,1 \text{ МПа}$  и соответственно с плотностью  $0,441 \text{ кг/м}^3$ .

В изобарическом режиме в автоклаве температура пара вследствие испарения влаги понизится, а влагосодержание возрастет. Температура смеси исходного пара с парами испаренной влаги на выходе из автоклава при-

нимается равной  $t_{\text{п.вых}} = 110 \text{ °C}$  с плотностью  $0,573 \text{ кг/м}^3$  [14], что исключает конденсацию паров в автоклаве, так как при барометрическом давлении плотность насыщенного пара равна  $0,590 \text{ кг/м}^3$  [12].

Удельное количество тепла, передаваемое перегретым паром влажным блокам, при таких параметрах [14] будет составлять

$$Q_{\text{п}} = i_{\text{п.вх}} - i_{\text{п.вых}} = 2914,7 - 2696,7 = 218 \text{ кДж/кг пара.}$$

Удельный расход перегретого пара с такими параметрами составит

$$I_{\text{п}} = Q_{\text{суш.уд.вл}} / Q_{\text{п}} = 1690,9 / 218 = 7,756 \text{ кг пара/кг удаленной влаги.}$$

Значение удельного расхода пара, рассчитанного для сравнения по формуле, предложенной в [15], получается несколько выше:

$$I_{\text{п}} = (1022 + t_{\text{п.вх}}) / (t_{\text{п.вх}} - t_{\text{п.вых}}) = (1022 + 220) / (220 - 110) = 11,3 \text{ кг пара/кг удаленной влаги.}$$

Удельные энергозатраты на выработку этого перегретого пара с температурой  $t_{\text{п.вх}} = 220 \text{ °C}$  из воды с температурой  $t_{\text{ж.0}} = 20 \text{ °C}$  и значением начальной энтальпии  $i_{\text{ж.0}} = 83,91 \text{ кДж/кг пара}$  [16] составят

$$Q_{\text{п.вх}} = i_{\text{п.вх}} - i_{\text{ж.0}} = 2914,7 - 83,91 = 2831 \text{ кДж/кг пара.}$$

Удельные энергозатраты на удаление влаги из материала посредством перегретого пара будут равны

$$Q_{\text{п.уд.вл}} = I_{\text{п}} Q_{\text{п.вх}} = 7,756 \cdot 2831 = 21 \text{ 957 кДж/кг удаленной влаги.}$$

### Сушка воздухом

Рассмотрим возможность сушки изделий из ячеистого бетона горячим воздухом.

Для этого также в автоклав с изделиями по завершении их химико-термической обработки и удалении из него технологического пара будем подавать горячий воздух.

Начальное влагосодержание влажного воздуха на входе  $X_{\text{п.в.вх}} = X_{\text{п.в.вх}}(t_{\text{вх}}, \varphi_{\text{вх}})$  будет определяться его температурой и влажностью на входе  $t_{\text{вх}}$  и  $\varphi_{\text{вх}}$ .

Количество влаги, уносимой с воздухом, будет определяться значением его влагосодержания  $X_{\text{п.в.вых}} = X_{\text{п.в.вых}}(t_{\text{вых}}, \varphi_{\text{вых}})$  при температуре и влажности воздуха на выходе  $t_{\text{вых}}$  и  $\varphi_{\text{вых}}$ .

Тогда количество влаги, удаляемой из самого высушиваемого материала, будет определяться разницей влагосодержаний воздуха на выходе и входе  $X_{\text{п.в.вых}} - X_{\text{п.в.вх}}$ , кг влаги/кг сухого воздуха.

Примем, что абсолютное давление в автоклаве равно  $P_{\text{суш}} = 0,1 \text{ МПа}$ . Воздух для сушки предварительно поступает в калорифер на его подогрев из окружающей среды с температурой  $t_{\text{в.0}} = 20 \text{ °C}$  с относительной влажностью  $\varphi_{\text{в.0}} = 0,81$  (81%) и плотностью  $\rho_{\text{в.0}} = 1,18 \text{ кг/м}^3$  [17].



При этих же условиях исходное влагосодержание воздуха составляет  $x_{п.в.0} = 0,012$  кг/кг сухого воздуха, соответствующее парциальное давление пара  $p_n = 1894$  Па, давление насыщающих паров  $p_n = 2338,8$  Па, что хорошо коррелирует с расчетом по формулам, приведенным в [18]:

$$p_n = 0,6112 \cdot \exp[17,504 \cdot t / (241,2 + t_{в.0})] = 2334,8 \text{ Па.}$$

Хотя влага из материала может испаряться при любой температуре материала, лишь бы парциальная плотность паров жидкости на поверхности материала  $p_{п.пов}$  была больше  $p_n$  в ядре потока, интенсивнее всего процесс сушки идет в состоянии кипения влаги при температуре, не менее температуры кипения. При Н. У. температура кипения воды со свободной поверхности  $t_{кип} = 100$  °С. Поэтому температура влажного воздуха, как сушильного агента, на выходе из автоклава должна быть также не менее 100 °С, чтобы высушиваемый материал не захлаживался, то есть, чтобы поток тепла всегда был направлен от сушильного агента к материалу. Поэтому также выберем, что температура воздуха на входе в автоклав  $t_{вх} = 220$  °С, на выходе из него  $t_{вых} = 110$  °С, а относительное влагосодержание воздуха на входе в автоклав  $x_{п.в.вх} = x_{п.в.0} = 0,012$  кг/кг сухого воздуха.

В воздухе, выходящем с температурой 110 °С (> 100 °С) отсутствует вторичная конденсация влаги на блоках, что обеспечивает удаление влаги из материала посредством ее выкипания из материала (хотя бы с его наружной поверхности).

Пары удаляемой из материала влаги вместе с исходными парами влаги и воздухом в сушильном агенте образуют в автоклаве паровоздушную среду.

Теплосодержание сушильного агента определяется по его температуре на входе. Влагоемкость сушильного агента определяется по его температурным параметрам на выходе.

Рассмотрим показатели энергоемкости сушки воздухом.

Расчет удельной энтальпии влажного воздуха с начальным влагосодержанием  $x_{п.в.вх} = x_{п.в.0}$  на 1 кг сухой части воздуха, рассчитанных по формуле [18]

$$i = 1,006 \cdot t + x_{п.в.} (2501 + 1,805 \cdot t) \text{ (кДж/кг сух. возд.),}$$

дает следующие значения  $i_{в.0} = 50,5652$ ;

$$i_{в.вых} = 143,0546;$$

$$i_{в.вх} = 256,0972 \text{ (кДж/кг сух. возд.).}$$

Количество тепла, передаваемое высушиваемому материалу от горячего воздуха, при-

нимая во внимание, что расчет ведется только с учетом начального влагосодержания влаги в воздухе  $x_{п.в.вх} = x_{п.в.0}$ , рассчитывается по изменению его температуры (при отсутствии теплопотерь):

$$Q_B = i_{в.вх} - i_{в.вых} = 256,0972 - 143,0546 = 113,0412 \text{ кДж/кг сухого воздуха.}$$

Удельный расход сухого воздуха

$$l_{с.в} = Q_{суш.уд.вл} / Q_B = 1690,9 / 113,0412 = 14,96 \text{ кг сухого воздуха/кг влаги.}$$

Поскольку

$$l_{с.в} = 1 / (x_{п.в.вых} - x_{п.в.0}),$$

можно определить влагосодержание воздуха, выходящего из автоклава:

$$x_{п.в.вых} = x_{п.в.0} + 1 / l_{с.в} = 0,012 + 0,0669 = 0,0789 \text{ кг влаги/кг сухого воздуха.}$$

При таком влагосодержании значение относительной влажности воздуха на выходе равно 7,9%, что гарантирует полное отсутствие конденсации в нем влаги.

Удельные энергозатраты на нагрев исходного воздуха до температуры  $t_{вх} = 220$  °С составляют

$$Q_{в.вх} = i_{в.вх} - i_{в.0} = 256,0972 - 50,5652 = 205,532 \text{ кДж/кг сухого воздуха.}$$

Удельные энергозатраты на удаление из материала влаги горячим воздухом составят

$$Q_{в.уд.вл} = l_{с.в} Q_{в.вх} = 14,96 \text{ кг сух. возд./кг влаги} \cdot 205,532 \text{ кДж/кг сух. возд.} = 3074,76 \text{ кДж/кг влаги.}$$

Приведенные выше расчетные оценки показывают большую энергетическую эффективность использования в качестве сушильного агента воздуха по сравнению с паром.

Поэтому оценку степени интенсивности процесса сушки произведем только для воздуха.

**Интенсивность сушки** будет зависеть от интенсивности подвода тепловой энергии к материалу изделия и интенсивности влагоудаления.

Так как при конвективной сушке посредством сушильного агента тепловая энергия к изделию подводится через его геометрическую поверхность, можно написать, что интенсивность теплообмена турбулентного потока паровоздушной среды (смесь сушильного агента с парами удаляемой влаги) с поверхностью пористого изделия с определяющим размером  $D$  при адиабатических условиях (когда вся теплота, переданная от парогазовой среды к жидкости, затрачивается на испарение последней и возвращается к смеси с паром),

характеризуемая средним значением безразмерного критерия Нуссельта

$$\overline{Nu}_R = \frac{\alpha R}{\lambda},$$

будет описываться известным выражением [16, с. 348],

$$\overline{Nu}_R = 0,00455 Re_R^{0,8} K_{исп}^{0,4}.$$

Соответственно среднее значение коэффициента теплообмена между поверхностью и потоком паровоздушной среды

$$\alpha = \frac{\lambda \overline{Nu}_R}{R}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

где  $R$ , м – определяющий размер поверхности (по направлению омывающего ее потока);

$\lambda$ , Вт/(м·°C) – коэффициент удельной теплопроводности паровоздушной среды (при температуре в ядре потока).

Значение критерия Рейнольдса

$$Re_R = \frac{wR}{\nu} = \frac{\rho_{cp} wR}{\eta},$$

где  $w$ , м/с – линейная скорость потока паровоздушной среды;

$\rho_{cp}$ , кг/м<sup>3</sup> – плотность паровоздушной среды;

$\nu$ , м<sup>2</sup>/с – кинематическая вязкость паровоздушной среды (при температуре в ядре потока);

$\eta$ , кг/(м·с) – динамическая вязкость паровоздушной среды (при температуре в ядре потока).

Значение критерия фазового перехода

$$K_{исп} = \frac{r_{исп}}{c_{p, cp} (t_{cp} - t_{поверхн.})},$$

где  $c_{p, cp}$ , Дж/(кг·K) – удельная изобарическая теплоемкость паровоздушной среды (при температуре в ядре потока);

$t_{cp}$ , °C – температура (средняя) паровоздушной среды в ядре потока;

$t_{поверхн.}$ , °C – температура поверхности изделия.

Для оценки значений искомой средней интенсивности необходимо выполнить корректное усреднение приведенных выше показателей.

Средняя температура потока паровоздушной смеси (в ядре потока)

$$t_{cp} = (t_{вх} + t_{вых})/2 = (220 + 110)/2 = 165 \text{ °C}.$$

Средняя температура смеси испаренной влаги и исходного сушильного агента в автоклаве в ядре потока принимается равной средней температуре сушильного агента

$t_{cp} = (t_{вх} + t_{вых})/2 = 165 \text{ °C}$ , что учитывается при расчете интенсивности теплообмена агента с изделием.

Как указано выше, паровоздушная среда состоит из воздуха со средним содержанием водяного пара в количестве

$$x_{n, cp} = (x_{n, в.0} + x_{n, в.вых})/2 = (0,012 + 0,0789)/2 = 0,045 \text{ кг влаги/кг сухого воздуха}.$$

Средняя плотность паровоздушной среды при  $P_{суш} = 0,1$  МПа рассчитывается по формуле, приведенной в [15]:

$$\rho_{cp} = (349 - \frac{132 \cdot x_{n, cp}}{0,622 + x_{n, cp}})/(273 + t),$$

кг среды/м<sup>3</sup> среды.

Из чего, соответственно, находится, что при  $t_{cp} = 110 \text{ °C}$   $\rho_{cp} = 0,888 \text{ кг/м}^3$ , при  $t_{cp} = 165 \text{ °C}$   $\rho_{cp} = 0,7763 \text{ кг/м}^3$ .

Относительная молярная концентрация сухого воздуха и пара в рассматриваемой смеси

$$\begin{aligned} \sigma_v &= 0,622/(0,622 + x_{n, cp}) = \\ &= 0,622/(0,622 + 0,045) = 0,9324; \\ \sigma_n &= x_{n, cp}/(0,622 + x_{n, cp}) = \\ &= 0,045/(0,622 + 0,045) = 0,0681. \end{aligned}$$

Плотность пара в смеси (165 °C)

$$\rho_{n, cp} = \sigma_n \rho_{cp} = 0,0681 \cdot 0,7763 = 0,0529 \text{ кг/м}^3.$$

Средние значения теплофизических параметров рассчитывались с учетом рекомендаций, приведенных в [19].

Расчетное выражение для величины среднего значения коэффициента теплообмена содержит значение коэффициента удельной теплопроводности в числителе. Поэтому среднее значение коэффициента удельной теплопроводности для смеси рассчитывается как средневзвешенное значений коэффициентов удельной теплопроводности составляющих компонентов при  $t_{cp} = 165 \text{ °C}$  с поправочным коэффициентом:

$$\begin{aligned} \lambda_{cp} &= (\sigma_v \lambda_v + \sigma_n \lambda_n) \left(1 + \frac{\sigma_n - \sigma_n^2}{3,5}\right) = \\ &= (0,932 \cdot 0,037 + 0,0681 \cdot 0,030) \cdot \end{aligned}$$

$$\left(1 + \frac{0,0681 - 0,0681^2}{3,5}\right) = 0,0372 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$$

(почти как у воздуха).

Среднее значение удельного коэффициента изобарической теплоемкости, рассчитываемое на 1 кг сухого воздуха, применяемое для энергетических расчетов,

$$\begin{aligned} c_{p, cp} &= c_{p, в} + x_{n, cp} c_{p, n} = 1020 + 0,045 \cdot 1975 = \\ &= 1110 \text{ Дж/(кг сух. возд. °C)}. \end{aligned}$$

Среднее значение удельного коэффициента изобарической теплоемкости, рассчитываемое на 1 кг паровоздушной среды (влажного воздуха), применяемое для тепло-

массообменных расчетов, в силу аддитивности физической природы этого показателя относительно долей составляющих ее компонентов, имеет следующее представление:

$$c_{p, cp} = \sigma_b c_{p, в} + \sigma_n c_{p, н} = 0,932 \cdot 1020 + 0,0681 \cdot 1975 = 1085,1 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}.$$

Среднее значение удельного коэффициента динамической вязкости паровоздушной среды:

$$\eta_{cp} = (\sigma_b \eta_b + \sigma_n \eta_n) \left(1 + \frac{\sigma_n - \sigma_b^2}{2,75}\right) = (0,932 \cdot 24,7 \cdot 10^{-6} + 0,0681 \cdot 14,8 \cdot 10^{-6}) \cdot \left(1 + \frac{0,0681 - 0,0681^2}{3,5}\right) = 24,58 \cdot 10^{-6} \text{ кг/(м}\cdot\text{с)}.$$

При обеспечении техническими средствами в автоклаве скорости движения сушильного агента в ядре потока, равной, например,  $w = 10 \text{ м/с}$ , значение критерия Рейнольдса для блока с  $R_{\text{бл.эфф}} = 0,444 \text{ м}$  составит

$$Re_R = \frac{\rho_{cp} w R_{\text{бл.эфф}}}{\eta_{cp}} = \frac{0,7763 \cdot 10 \cdot 0,444}{24,58 \cdot 10^{-6}} = 140226,$$

что свидетельствует о развитой степени турбулентности.

Значение критерия фазового перехода при давлении в автоклаве  $0,1 \text{ МПа}$ , температуре поверхности изделия  $t_{\text{поверхн}} = t_{\text{вых}} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$  и соответствующей теплоте испарения  $r_{\text{исп}} = 2257,6 \text{ кДж/кг}$  [14,20,21]

$$K_{\text{исп}} = \frac{r_{\text{исп}}}{c_{p, cp} (t_{cp} - t_{\text{поверхн}})} = \frac{2257,6}{1,0851 (165 - 110)} = 37,83.$$

$$\overline{Nu}_R = 0,00455 Re_R^{0,8} K_{\text{исп}}^{0,4} = 0,00455 \cdot 140226^{0,8} \cdot 37,83^{0,4} = 255.$$

$$\alpha = \frac{\lambda_{cp} \overline{Nu}_R}{R_{\text{бл.эфф}}} = \frac{0,0372 \cdot 255}{0,444} = 21,36 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}.$$

Величина плотности теплового потока от паровоздушной среды к поверхности изделия

$$q = \alpha (t_{cp} - t_{\text{поверхн}}), \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}.$$

Продолжительность подвода тепла к изделию массой  $m_{\text{м.сух}}$  и площадью наружной поверхности  $S_{\text{м}}$  для испарения из него влаги в количестве  $x_{\text{вл.уд}}$  в общем случае может быть определена из следующего соотношения для закона сохранения энергии

$$m_{\text{м.сух}} Q_{\text{суш.м}} = q S_{\text{м}} \tau = \alpha (t_{cp} - t_{\text{поверхн}}) S_{\text{м}} \tau.$$

Для сушки блоков с массой  $m_{\text{бл.сух}} = 38,91 \text{ кг}$  и площадью поверхности  $S_{\text{бл}} = 1,185 \text{ м}^2$  необхо-

димо  $Q_{\text{суш.м}} = 679,74 \text{ кДж/(кг скелета сухого материала)}$ , откуда эта длительность равна

$$\tau = \frac{m_{\text{бл.сух}} Q_{\text{суш}}}{\alpha (t_{cp} - t_{\text{поверхн}}) S_{\text{бл}}} = \frac{38,91 \cdot 679 \cdot 740}{21,36 \cdot (165 - 110) \cdot 1,185} = 18 \cdot 994 \text{ с} = 5,28 \text{ ч}.$$

Интенсивность массообмена в потоке сушильного агента описывается соотношением диффузионного критерия Нуссельта

$$\overline{Nu}_{\text{д.Р}} = 2 \cdot 10^{-4} Re_R^{0,8} \left(\frac{p_{\text{п.стенки}} - p_{\text{п.потока}}}{P_{\text{суш}}}\right)^{-0,5} \left(\frac{p_{\text{п.потока}}}{P_{\text{суш}}}\right)^{-0,5},$$

где  $p_{\text{п.стенки}}$ ,  $P_{\text{а}}$  – парциальное давление водяных паров у поверхности стенки изделия. Принимается, что  $p_{\text{п.стенки}} = p_{\text{п.нас}}(t_{\text{поверхн}}) = p_{\text{п.насыщ}}(110 \text{ }^\circ\text{C)}$ ;

$p_{\text{п.потока}}$ ,  $P_{\text{а}}$  – парциальное давление водяных паров в ядре потока;  $P_{\text{суш}}$ ,  $P_{\text{а}}$  – полное давление паровоздушной среды в сушилке.

По данным [17] при  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  на стенке,  $\varphi = 4,75\%$ ;  $0,1 \text{ МПа}$ . Из чего находим, что

$$p_{\text{п.стенки}} = p_{\text{п.насыщ}} = 143 \cdot 383,6 \text{ Па};$$

$$p_{\text{п.в}} = 6811 \text{ Па};$$

$$x_{\text{п}} = 0,045 \text{ кг/кг};$$

$$i = 233,4 \text{ кДж/кг};$$

средняя плотность влажного воз-

$$\text{духа } \rho_{cp} = 0,888 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{п.ср}} = \sigma_{\text{п}} \rho_{cp} = 0,0681 \cdot 0,888 = 0,0605 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{насыщ}} = \rho_{\text{п.ср}} / \varphi = 0,0605 / 0,0475 = 1,273 \text{ кг/м}^3.$$

При  $165 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\varphi = 0,97\%$ ;  $0,1 \text{ МПа}$  находим, что

$$p_{\text{п.насыщ}} = 700 \cdot 978 \text{ Па};$$

$$p_{\text{п.в}} = 6799 \text{ Па};$$

$$x_{\text{п}} = 0,045 \text{ кг/кг};$$

$$i = 293 \text{ кДж/кг};$$

средняя плотность влажного воз-

$$\text{духа } \rho_{cp} = 0,7763 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{п.ср}} = \sigma_{\text{п}} \rho_{cp} = 0,0681 \cdot 0,7763 = 0,0529 \text{ кг/м}^3,$$

$$\overline{Nu}_{\text{д.Р}} = 2 \cdot 10^{-4} Re_R^{0,8} \left(\frac{p_{\text{п.стенки}} - p_{\text{п.потока}}}{P_{\text{суш}}}\right)^{-0,5} \left(\frac{p_{\text{п.потока}}}{P_{\text{суш}}}\right)^{-0,5} =$$

$$= 2 \cdot 10^{-4} \cdot 140226^{0,8} \cdot \left(\frac{143383,6 - 6799}{100 \cdot 000}\right)^{-0,5} \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{6799}{100 \cdot 000}\right)^{-0,5} = 8,601.$$

Значение массообменного безразмерного критерия (диффузионное число Нуссельта):

$$\overline{Nu}_{\text{д.Р}} = \frac{\beta R}{D}, \quad \beta = \frac{D \overline{Nu}_{\text{д.Р}}}{R_{\text{бл.эфф}}} = \frac{4,02 \cdot 10^{-5} \cdot 8,601}{0,44} = 7,79 \cdot 10^{-4} \text{ м/с},$$

где  $\beta$ , м/с – коэффициент массообмена между поверхностью и потоком паровоздушной среды, отнесенный к разности плотностей пара.

Коэффициент диффузии пара в паровоздушной среде, рассчитываемый по [22] при барометрическом давлении  $P_0 = 101325$  Па, будет равен

$$D = D_{t_0} \left( \frac{273 + t}{273} \right)^{1,8} \frac{P_0}{P_{\text{суш}}} =$$

$$= 2,16 \cdot 10^{-5} \left( \frac{273 + 110}{273} \right)^{1,8} \frac{101325}{100\,000} =$$

$$4,02 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Величина плотности массового потока пара от поверхности изделия к потоку паровоздушной среды

$$j = \beta(\rho_{\text{п.стенки}} - \rho_{\text{п.ср}}) =$$

$$= 7,79 \cdot 10^{-4}(1,273 - 0,0529) = 9,50 \cdot 10^{-4} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}),$$

где  $\rho_{\text{п.стенки}} = \rho_{\text{п.насыщ}}(t_{\text{поверхн}})$ , кг/м<sup>3</sup> – плотность пара у поверхности стенки изделия;

$\rho_{\text{п.ср}}$ , кг/м<sup>3</sup> – плотность пара в ядре потока при  $t_{\text{ср}}$ .

Длительность периода постоянной скорости сушки  $\tau_{\text{вл}}$  для изделий с массой удаляемой влаги  $m_{\text{вл.уд}}$  и площадью наружной поверхности  $S_{\text{м}}$  в общем случае может быть определена из следующего соотношения для закона сохранения вещества

$$m_{\text{вл.уд}} = j S_{\text{м}} \tau = \beta(\rho_{\text{п.стенки}} - \rho_{\text{п.ср}}) S_{\text{м}} \tau_{\text{вл}}.$$

Для изделий в виде блоков с массой  $m_{\text{бл.сух}} = 38,91$  кг, массой удаляемой влаги  $m_{\text{вл.уд.бл}} = 15,65$  кг и площадью поверхности  $S_{\text{бл}} = 1,185$  м<sup>2</sup>

$$\tau_{\text{вл}} = \frac{m_{\text{вл.уд.бл}}}{\beta(\rho_{\text{п.стенки}} - \rho_{\text{п.ср}}) S_{\text{м}}} = \frac{15,65}{9,50 \cdot 10^{-4} \cdot 1,185} =$$

$$= 13895 \text{ с} = 3,86 \text{ ч}.$$

Следует учитывать, что общая продолжительность сушки несколько больше длительности периода постоянной скорости.

### Экономические показатели

Примем, что объем годового выпуска изделий из ячеистого бетона составляет, например,  $V_{\text{бл.год}} = 400000$  м<sup>3</sup>/год.

Удельная масса влаги, удаляемая из единицы объема типового изделия массой  $m_{\text{бл.сух}} = 38,91$  кг с плотностью  $\rho_{\text{м.сух}} = 500$  кг/м<sup>3</sup> при его последующем высушивании от начальной влажности 35% до конечной 12%,

$$m_{\text{вл.уд.удельная}} = m_{\text{вл.уд.бл}} / V_{\text{бл}} =$$

$$= 15,65 / 0,0778125 = 201,1 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Годовое количество удаляемой влаги (примем, как расчетное) будет составлять

$$m_{\text{вл.уд.год}} = m_{\text{вл.уд.удельная}} V_{\text{бл.год}} = 201,1 \cdot 400000 =$$

$$= 80\,440\,000 \text{ кг}/\text{год} = 80\,440 \text{ т}/\text{год}.$$

Для сравнения оценим энергозатраты на термовлажностную обработку изделий паром в автоклаве.

Расход пара на один цикл в одном автоклаве составляет  $M_{\text{п.цикл}} = 11,5$  т/автоклав. При объеме загрузки  $V_{\text{м.авт}} = 90$  м<sup>3</sup> блоков в автоклав удельный расход пара будет

$$M_{\text{п.уд}} = M_{\text{п.цикл}} / V_{\text{м.авт}} = 11,5 / 90 =$$

$$= 0,127778 \text{ т}/\text{м}^3 \text{ блоков},$$

а соответственный годовой расход пара

$$M_{\text{п.год}} = M_{\text{п.уд}} V_{\text{бл.год}} = 0,127778 \cdot 400000 =$$

$$= 51\,111 \text{ т пара}/\text{год}.$$

Годовое потребление тепловой энергии (от пара) будет

$$51111 \text{ т пара}/\text{год} \cdot 2786 \text{ МДж}/\text{т пара (энтальпия)} =$$

$$= 142\,395\,246 \text{ МДж}/\text{год} =$$

$$= 39\,554 \text{ МВт} \cdot \text{час}/\text{год} =$$

$$= 34\,010 \text{ Гкал}/\text{год} = 4859 \text{ т у. т.}/\text{год}.$$

Удельное потребление тепловой энергии (от пара)

$$142\,395\,246 \text{ МДж}/\text{год} / 400000 \text{ м}^3/\text{год} =$$

$$= 356 \text{ МДж}/\text{м}^3 = 0,0989 \text{ МВт} \cdot \text{час}/\text{м}^3 =$$

$$= 0,0850 \text{ Гкал}/\text{м}^3 = 0,0121 \text{ т у. т.}/\text{м}^3.$$

Годовые энергозатраты при сушке изделий воздухом составят

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{уд.вл}} m_{\text{вл.уд.год}} = 3074,76 \text{ кДж}/\text{кг влаги} \cdot$$

$$\cdot 80\,440\,000 \text{ кг}/\text{год} = 247\,333\,694 \text{ МДж}/\text{год} =$$

$$= 68\,704 \text{ МВт} \cdot \text{час}/\text{год} = 59\,075 \text{ Гкал}/\text{год} =$$

$$= 8\,439,2 \text{ т у. т.}/\text{год}.$$

Удельное потребление тепловой энергии (на нагрев воздуха для сушки)

$$247\,333\,694 \text{ МДж}/\text{год} / 400000 \text{ м}^3/\text{год} =$$

$$= 618 \text{ МДж}/\text{м}^3 = 0,172 \text{ МВт} \cdot \text{час}/\text{м}^3 =$$

$$= 0,148 \text{ Гкал}/\text{м}^3 = 0,0211 \text{ т у. т.}/\text{м}^3.$$

В денежном выражении на типовом производстве доля стоимости тепловой энергии в себестоимости единицы продукции (1 м<sup>3</sup>) составляет **примерно 4,38%** при ее общем расходе в размере 0,121 Гкал/м<sup>3</sup>.

При увеличении расхода тепловой энергии на сушку изделий воздухом на 0,148 Гкал/м<sup>3</sup> себестоимость единицы продукции **увеличивается на 5,07%**.

При осуществлении энергосберегающих мероприятий, направленных на нагрев воздуха, например при утилизации для этой цели вторичного тепла от иных энергопотребителей, величина себестоимости может быть значительно уменьшена.

## Выводы

1. Сушка блоков из ячеистого бетона горячим воздухом, получаемым в теплогенераторе в автоклаве возможна. Себестоимость высушенных блоков увеличится не более, чем на 5%.

2. При создании надлежащего энергетического узла, вырабатывающего тепловую энергию совокупно с электрической в когенерационном цикле, позволит снизить себестоимость продукции за счет генерации собственной дешевой электроэнергии.

3. Применение высушенных в заводских условиях газосиликатных блоков будет способствовать повышению качества строительных работ.

4. Затраты на сушку газосиликатных блоков будут несопоставимо малы по сравнению с затратами на ликвидацию негативных последствий при использовании влажных блоков в жилищном строительстве и повышению расхода тепловой энергии на отопление этих объектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сажнев, Н.П., Гончарик, В.Н., Гарнашевич, Г.С., Соколовский, Л.В. / Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика. – Мн.: Стринко, 1999. – 284 с.: ил.

2. Сажнев, Н.П. Опыт производства и применения ячеистобетонных изделий автоклавного твердения в Республике Беларусь // Опыт производства и применения ячеистобетонных изделий автоклавного твердения: материалы 7-й Международной научно-практической конференции, Брест, Малорита, 22-24 мая 2012 г. / редкол. Н.П. Сажнев (отв. ред.) [и др.]. – Мн.: Стринко, 2012. – 120 с.: ил.

3. Гарнашевич, Г.С., Губская, А.Л., Сажнев, Н.П., Лоско, А.В., Лоско, В.В., Власенко, Ж.Н. Ячеистый бетон автоклавного твердения: теплофизические и эксплуатационные свойства. Проблемы и решения // Опыт производства и применения ячеистобетонных изделий автоклавного твердения: материалы 9-й Международной научно-практической конференции, Минск, 18-19 мая 2016 г. / редкол. Н.П. Сажнев (отв. ред.) [и др.]. – Мн.: Колорград, 2016. – 112 с.: ил.

4. Рыхленок, Ю.А., Крутилин, А.Б. Особенности эксплуатации и причины снижения долговечности наружных стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения // Проблемы современного бетона и железобетона. Сборник научных трудов. Выпуск 4. – Мн.: «Колорград», 2012.

5. Крутилин, А.Б. Некоторые результаты экспериментальных исследований сорбционного увлажнения ячеистых бетонов низких плотностей. // Опыт производства и применения ячеистобетонных изделий автоклавного твердения: материалы 9-й Международной научно-практической конференции, Минск, 18-19 мая 2016 г. / редкол. Н.П. Сажнев (отв. ред.) [и др.]. – Мн.: Колорград, 2016. – 112 с.: ил.

6. Лешкевич, В.В., Крутилин, А.Б., Протасевич, А.М. Тепло- влагоперенос в ограждениях из ячеистого бетона со штукатурными слоями полимерно-цементными составами. // Проблемы современного бетона и железобетона. Сборник научных трудов. Выпуск 9. – Мн.: «Колорград», 2017.

7. Лыков, А.В. Теория сушки. Изд.-е 2-е, перераб. и доп. – М.: «Энергия», 1968. – 472 с. с илл.

8. Акулич, П.В. Расчеты сушильных и теплообменных установок / П. В. Акулич. – Мн.: Беларус. навука, 2010. – 443 с.

9. Плановский, А.Н., Рамм, В.М., Каган, С.В. / Процессы и аппараты химической технологии. Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Госуд. научно-техн. изд-во химич. литературы, 1962. – 847 с. (с. 738).

10. Лебедев, П.Д. / Расчет и проектирование сушильных установок. (Учеб. для высш. техн. учеб. заведений). – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 320 с. с черт.

11. Инструкция по применению газобетонных блоков ОАО «Березовский КСИ». Сайт ОАО «Березовский КСИ»: [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.berezaksi.by](http://www.berezaksi.by). – Дата доступа: 23.04.2018.

12. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). Изд. 3-е, перераб. и доп. – СПб.: Издательство НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с. с ил.

13. Михайлов, Ю.А. Сушка перегретым паром. – М.: «Энергия», 1967. – 200 с.

14. Перегретый пар / Сайт компании Spirax Sarco: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.spiraxsarco.com/global/ru/Resources/Pages/steam-tables/superheated-steam.aspx>. – Дата доступа: 23.04.2018.

15. Кречетов, И.В. Сушка и защита древесины: учебник для техникумов. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 328 с.

16. Исаченко, В.П., Осипова, В.А., Сукомел, А.С. Теплопередача. Учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: «Энергия», 1975. – 448 с. с ил.

17. Физические свойства влажного воздуха / Информационный инженерный портал: [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://helpeng.ru/programs/properties\\_dump\\_air.php](http://helpeng.ru/programs/properties_dump_air.php). – Дата доступа: 23.04.2018.

18. I-d диаграмма влажного воздуха: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://iddiagram.ru/help.php>. – Дата доступа: 23.04.2018.

19. Государственная служба стандартных справочных данных (ГСССД 125-88). Таблицы стандартных справочных данных. Воздух влажный. Теплофизические свойства в диапазоне 5...95 °С при давлении 99325 Па.: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200080697> – Дата доступа: 23.04.2018.

20. Буянов, О.Н., Архипова, Л.М. / Таблицы. Вода и водяной пар. Справочные материалы для практических и лабораторных занятий. – Кемерово, 2005. – 65 с.: e-lib.kemtip.ru/uploads/18/tht080.doc

21. Теплофизические свойства водяного пара: плотность, теплоемкость, теплопроводность. – Сайт Thermalinfo.ru: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-gazov/neorganicheskie-gazy/teplofizicheskie-svoystva-teploprovodnost-vodyanogo-para-na-linii-nasyshheniya> – Дата доступа: 23.04.2018.

22. Андреев, Е.И. / Расчет тепло- и массообмена в контактных аппаратах. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 192 с., ил.: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://mash-xxl.info/page/047012187214180198020020164017227214109137251033/> – Дата доступа: 23.04.2018.

# ВЫПУСК КОНСТРУКЦИОННО-ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ БЛОКОВ ПЛОТНОСТЬЮ 300 КГ/М<sup>3</sup> И 350 КГ/М<sup>3</sup> НА ГРОДНЕНСКОМ КСМ



**Гейба В.П.**,  
 главный инженер филиала  
 № 5 «Гродненский КСМ»  
 ОАО «Красносельск-  
 стройматериалы»  
 (г. Гродно, Беларусь)



**Белко А.Г.**,  
 главный технолог филиала  
 № 5 «Гродненский КСМ»  
 ОАО «Красносельск-  
 стройматериалы»  
 (г. Гродно, Беларусь)

Наше предприятие является одним из ведущих в Беларуси производителей изделий для жилищного строительства, в том числе изделий из силикатного бетона и газобетона автоклавного твердения. Продукция Гродненского комбината строительных материалов широко применяется в частных и коммерческих застройках. Большой ассортимент изделий позволяет подобрать у одного производителя все необходимое для возведения стен: силикатные кирпичи одинарные, полуторные (в том числе окрашенные), силикатные камни, блоки из ячеистого бетона стеновые, блоки для перегородок зданий, перемычки брусковые, теплоизоляционные плиты, а также известь строительную порошкообразную.

Продукция неоднократно принимала участие в конкурсах «Лучший строительный продукт года», «На лучшее достижение в строительной отрасли», где не раз становилась победителем.



Выпуск блоков линии  
 «Wehrhahn»  
 за 2014–2017 гг.  
 по плотностям

Несколько лет назад в соответствии с наметившимися тенденциями по переходу на энергоэффективное строительство, которое позволит снизить потребление тепловой энергии, комбинат поставил себе цель – выпуск изделий с пониженной плотностью, но с сохранением классов по прочности на сжатие. Сегодня предприятие стабильно производит блоки плотностью D350 прочностью на сжатие 1,7 МПа.

С июля 2017 года начали выпуск блоков D300 прочностью на сжатие 1,6 МПа.

Для выпуска блоков легких весов с сохранением классов по прочности использовалось то же сырье, что и при изготовлении блоков средней плотностью D500 и D400. Характеристики сырьевых компонентов приведены в табл. 1, параметры ячеистобетонной смеси – в табл. 2, физико-механические характеристики блоков – в табл. 3.

Производство блоков осуществляется на технологическом оборудовании немецкой фирмы «Wehrhahn».

Режим автоклавной обработки не отличается от режимов, которые применяются при производстве блоков плотностью 400 и 500.

Несколько слов о достоинствах конструктивно-теплоизоляционных блоков плотностью D350 и D300.

Снижение средней плотности конструктивно-теплоизоляционного ячеистого бетона до 300–350 кг/м<sup>3</sup> при прочности на сжатие В1,6 позволяет:

- снизить себестоимость продукции;
- уменьшить расход ячеистого бетона на квадратный метр площади дома;
- снизить энергозатраты;
- снизить общий вес постройки, что дает дополнительную экономию на конструктивных элементах и стеновых материалах;
- облегчить доставку, погрузку-разгрузку газосиликатных блоков.

Таблица 1

#### Характеристики сырьевых компонентов

№ пп	Наименование сырья	Характеристика сырья
1	Песок	Содержание кварца (не связанного SiO <sub>2</sub> ) – не менее 80% Содержание зерен размером от 5 до 10 мм – не более 5% Содержание пылевидных и глинистых частиц – не более 5% Содержание глины в комках, % – не допускается
2	Цемент	ПЦ500-Д0 Начало схватывания – не ранее 45 мин Конец схватывания – не позднее 4 часов Тонкость помола по остатку на сите 008 – не более 15%
3	Известь	СаО+MgO 3 сорта 70-80%, 2 сорта 80-90% Содержание активных MgO – не более 5% Содержание гидратной воды – не более 2 % Время гашения – не более 8 мин
4	Гипсовый камень	2 сорта Содержание гипса (C <sub>a</sub> SO <sub>4</sub> ·xH <sub>2</sub> O) в гипсовом камне не менее 90%
5	Паста алюминиевая тонкодисперсная	DEG/4513 производства фирмы «Schlenk»

Таблица 2

#### Параметры ячеистобетонной смеси

Начальная температура смеси, °С	Распływ по Суттарду, см	Время созревания до резки, мин	Пластическая прочность по пенетromетру на резке, ед.
36–38	32–34	190–210	260–300

Таблица 3

#### Физико-механические характеристики блоков

Фактическая плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Влажность, %	Теплопроводность в высушенном состоянии λ <sub>10, сух.изд.</sub> , Вт/(м·К)	Относительная усадка при высыхании, мм/м
306–315	1,6–1,7	33–35	0,085	0,05



Пограничный переход Брузги

Есть, конечно, у этого материала и слабые стороны.

Изделия из ячеистого бетона отличаются хрупкостью. Чаще всего это проявляется при транспортировке и в процессе работ, когда механические воздействия наиболее вероятны.

Ячеистый бетон – это материал пористый, что одновременно является и плюсом, и минусом. Поэтому он требует к себе особого отношения и внимательности при использовании.

Так как изделия обладают высокой водопоглощающей способностью, накопленная влага может кристаллизироваться в период преобладания отрицательных температур и нанести непоправимый вред структуре изделия из ячеистого бетона. В связи с этим такие строения требуют технически верной отделки как снаружи, так и внутри здания.

Но все эти недостатки вполне можно нивелировать путем правильно и грамотно выполненной кладки, отделки и верно подобранными материалами, а также осторожностью в обращении.

Дефекты ячеистого бетона, проявившиеся в уже готовых конструкциях, в большинстве своем однотипны и связаны напрямую с неправильным применением.

**Но вот вопрос: кому нужна эта продукция? И нужна ли вообще?**

Да, помогают важные для республики объекты, где изначально заложено использова-

ние передовых технологий и самых современных материалов. Так, например, стеновые блоки низкого объемного веса D350 нашего предприятия применялись при строительстве энергоэффективного дома второго поколения в Гродно по ул. Дзержинского, а также при возведении 15-этажного жилого дома по ул. Тавлая в Гродно, нескольких жилых домов в г. Лида, транспортно-логистического центра с гостиницей на пограничном переходе Брузги и некоторых других объектов.



Жилой дом по ул. Тавлая в Гродно



Но это единичные случаи. Для того, чтобы началось массовое применение нового продукта в Беларуси, чтобы проектные организации и организации-застройщики заинтересовались этим продуктом и могли с ним работать необходимо исследовать его со всех сторон, провести испытания данных изделий в кладке. Все испытания, необходимые для сертификации этой продукции, мы провели в соответствии с требованиями ТР 2009/013/ВУ «Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность».

Но нужны испытания несколько иного рода. Например, испытания на определение предела огнестойкости кладки, индекса изоляции воздушного шума, теплопроводность кладок, паропроницаемость, необходимы также исследования по подбору материалов защитно-отделочных слоев, испытания на вырыв анкерных устройств (стеклопластиковых связей), исследования по определению прочностных и деформационных характеристик изделий для каменной кладки (определение прочности каменной кладки при сжатии, определение прочности каменной кладки на растяжение при изгибе, определение начальной прочности при сдвиге каменной кладки).

Затем, имея на руках эти исследования, необходимо:

- заказать выполнение работ по внесению изменений в серию Б2.030-13.10 «Узлы и детали поэтажно опертых стен жилых и общественных зданий и сооружений из эффективных мелкоштучных стеновых материалов» или разработать отдельную расширенную актуализированную документацию по применению в поэтажно опертых наружных стенах блоков из ячеистых бетонов, в которую вошли бы изделия из ячеистых бетонов D300;
- заказать работы по расчету эквивалентного коэффициента теплопроводности кладки блоков в условиях эксплуатации А и Б согласно ТКП 45-2.04-43-2006 с внесением изменений в рекомендации по расчету приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и расчету потерь теплоты помещений через ограждения Р1.04.115.13;
- разработать каталог тепловых мостиков основных элементов наружных стен для блоков стеновых;
- провести работы по анализу устойчивости однослойных стен из ячеистобетонных блоков D300 и D350.

И вот здесь предприятие-производитель остается в одиночестве. И все финансовое бремя ложится только на его плечи!

Учитывая все вышесказанное, можно с уверенностью говорить, что блоки низких объемных весов из ячеистого газобетона автоклавного твердения являются универсальным материалом для комфортного строительства и проживания. Это – блоки будущего, которые все больше набирают популярность в мировом строительстве. Коллектив предприятия заинтересован в их продвижении в белорусскую строительную практику и в связи с этим очень надеется на помощь в решении проблемных вопросов со стороны Союза строителей Беларуси и Министерства архитектуры и строительства.

Предприятиям-производителям в нынешней ситуации в одиночку не справиться, им нужна поддержка в проведении исследований и разработке необходимой проектной документации.

Выражаем благодарность за помощь в работе европейским коллегам, в частности:

*Инженеру-химику-технологу фирмы Schlenk Сафоновой Ирине Николаевне.*

*Украинскому коллеге генеральному директору ООО «АЕРОС Украина» Рудченко Дмитрию Геннадьевичу.*

*Президенту фирмы «Wehrhahn» доктору технических наук Клаусу Бонеманну.*

# ОПЫТ ВЫПУСКА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ БЛОКОВ ПЛОТНОСТЬЮ 200 КГ/М<sup>3</sup> В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

**Жакеев Т.А.,**  
 технолог ТОО «Альянс МТС»  
 (г. Астана, Казахстан)

**Баженов И.В.,**  
 технический директор ООО «НСК-ТЕК»  
 (г. Екатеринбург, Россия)

Актуальность темы выпуска теплоизоляционного газобетона автоклавного твердения, опираясь на рынок России и Украины, является очевидной, хотя в перспективе вряд ли будет иметь большую долю в общей реализации выпускаемых изделий из ячеистого бетона. До 2018 года в Республике Казахстан сегмент теплоизоляционных блоков автоклавного твердения отсутствовал, т.к. ни один из производителей газобетона не выпускал продукцию плотностью ниже 400 кг/м<sup>3</sup>.

В феврале 2018 года на мощностях завода ТОО «Альянс-МТС» г. Астана совместно с предприятием ООО «НСК-ТЕК» были проведены первые испытания по выпуску теплоизоляционного газобетона. Основной целью испытаний ставилось получение газобетона плотностью 200 кг/м<sup>3</sup> при условии сохранения ритмичности выпуска без снижения общего объема производства продукции.

ТОО «Альянс МТС» является одним из ведущих производителей и поставщиков блоков из автоклавного и неавтоклавного газобетона в г. Астана и Акмолинской области. Ячеистый бетон является современным стеновым строительным материалом, отвечающим всем требованиям высотного и малоэтажного строительства. Производственная линия скомпонована из оборудования, произведенного на китайских и российских машиностроительных предприятиях. Номенклатура выпускаемой продукции делится на перегородочные и стеновые блоки и насчитывает более десят-

ка различных типоразмеров: от 10x20x60 до 30x40x60 см. Годовая мощность предприятия составляет 180 000 м<sup>3</sup>, из которых 150 000 м<sup>3</sup> составляет автоклавный газоблок.

Для выпуска теплоизоляционного газобетона плотностью 200 кг/м<sup>3</sup> использовалось то же сырье, что и при изготовлении стандартной продукции за исключением газообразователя. Вместо стандартно применяемой алюминиевой пасты «ГазобетоПЛЮС» решено использовать наиболее подходящий для данной плотности газообразователь «Газобето+400». Характеристики используемого сырья указаны в табл. 1.

Испытания были запланированы и проведены в условиях штатного производственного процесса без технологических пауз и остановок. Выпуск осуществлялся путем разовых заливок во время производства газобетона плотностью 500 кг/м<sup>3</sup>. Распływ опытных заливок был увеличен относительно стандартного режима на 2–3 см, температуру снизили на 2–3 °С. Параметры заливаемой газобетонной смеси приведены в табл. 2.

Таблица 1

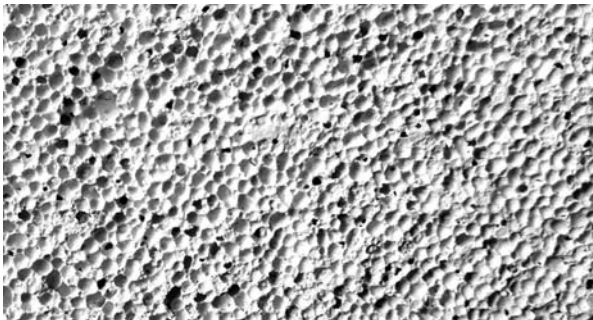
## Характеристики используемого сырья

Наименование сырья	Характеристика сырья
Песок	SiO <sub>2</sub> – 90...95% Содержание илистых и глинистых 0,5...8%
Цемент	Марка М500 Д0 Начало схватывания 2,33 часа Конец схватывания 3,5 часа Удельная поверхность 2800
Известь	CaO + MgO = 65...85% Время гашения 5...7 мин
Гипс	CaSO <sub>4</sub> ·0,5H <sub>2</sub> O строительный в мешкотаре, Г-5
Газобето+400	Остаток на 0056 сите 0,1% Остаток на 0045 сите 0,3% Количество активного алюминия в продукте 90,3%

Таблица 2

## Параметры заливаемой газобетонной смеси

Распływ по Суттарду, см	Начальная температура смеси, °С	Время созревания массивов до резки, мин	Пластическая прочность на резке, ед.
30–32	37–39	180	180–200



Структура полученного теплоизоляционного газобетона плотностью 200 кг/м<sup>3</sup>

Как и при стандартном выпуске, массивы плотностью 200 кг/м<sup>3</sup> подвергались однократному кантованию, проходя резку и поступая в автоклав в вертикальном положении. Автоклавирование продукции осуществлялось совместно с блоками плотностью 500 кг/м<sup>3</sup>, соответственно режимы автоклавирования оставались неизменными. На выходе из автоклава блоки имели влажность 38%. Брак готовой продукции, связанный с образованием трещин в результате механических воздействий, составил примерно 15%. Необходимо учесть, что этот результат зафиксирован на разовых заливках и при производстве теплоизоляционных блоков в промышленных объемах планируется снизить количество брака вдвое.

Таблица 3  
Параметры выпущенного газобетона плотностью 200 кг/м<sup>3</sup>

Фактическая плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, кг/см <sup>2</sup>	Теплопроводность Вт/м·К
204–207	12–14	0,054

Результаты определения физических параметров готовой продукции приведены в табл. 3.

Подводя итог проведенной работы необходимо отметить, что одним из главных плюсов выпуска теплоизоляционного газобетона автоклавного твердения плотностью 200 кг/м<sup>3</sup> на заводе ТОО «Альянс МТС» является то, что производство данной продукции возможно без увеличения времени созревания массивов и времени циклов заливок. Это позволяет сохранить производительность линии и увеличить вариативность выпуска продукции.

В своей дальнейшей работе предприятие планирует проведение мероприятий, направленных на популяризацию экологичного, огнестойкого, теплоизоляционного ячеистого бетона автоклавного твердения в Республике Казахстан, где основным утеплителем в настоящее время является минеральная вата. Для этого есть и экономическое обоснование: стоимость минеральной ваты по сравнению со стоимостью газобетонных блоков выше на 20–25%.

## СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ ГАЗООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

марок

# «ГАЗОБЕТО®»

- разработаны специально для производства газобетона
- дифференцированы по маркам в зависимости от требуемой плотности  
Газобетолайт, Газобетопласт, Газобето+500 - для 500-700 кг/м<sup>3</sup>  
Газобетолюкс, ГазобетоПЛЮС, Газобето+400 - для 350-450 кг/м<sup>3</sup>
- отличаются пониженным пылением
- не требуют обработки ПАВ
- характеризуются высокой степенью стабильности по содержанию активного Al и кинетике газовыделения

+7 (343) 373-45-20, 373-45-21  
www.nsktek.ru, nsk@nsktek.ru



# ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ В ТЕХНОЛОГИИ АВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА



**Мечай А.А.,**  
 к.т.н., зав. кафедрой химической технологии вяжущих материалов Белорусского государственного технологического университета (г. Минск, Беларусь)



**Барановская Е.И.,**  
 к.т.н., стар. науч. сотр. кафедры химической технологии вяжущих материалов Белорусского государственного технологического университета (г. Минск, Беларусь)



**Гончар А.Н.,**  
 инженер-технолог СООО «СинерждиКом» (г. Минск, Беларусь)

## Введение

Актуальность исследования органических добавок комплексного действия в составе ячеистобетонных смесей обусловлена следующими современными направлениями совершенствования технологии автоклавного газобетона: необходимостью снижения энергозатрат на помол сырья и расхода пара на автоклавную обработку сырца, расхода

дорогостоящих сырьевых компонентов, а также повышения прочности готовых изделий, что позволит осуществлять производство ячеистого бетона низких плотностей с улучшенными физико-механическими свойствами. Решение указанных задач для предприятий-производителей автоклавного ячеистого бетона является перспективным направлением снижения его себестоимости.

Учитывая тот факт, что ячеистобетонная смесь является сложной многокомпонентной системой, в которой изменение свойств сырьевых материалов либо хотя бы одного технологического параметра может приводить к существенным изменениям ее реологических свойств, оказывать влияние на процессы газовыделения и структурообразования, изменение температуры и времени созревания массива, темпы набора пластической прочности, а также физико-механические свойства изделий, в технологии ячеистого бетона практически не используются химические добавки. Интерес к использованию органических добавок на основе поликарбоксилатного лигнина обусловлен в первую очередь возможностью их комплексного влияния на свойства ячеистобетонных смесей и бетона. Анионные поверхностно-активные вещества (ПАВ) могут вводиться на стадии помола известково-песчаного вяжущего, выполняя роль интенсификатора процесса помола, либо непосредственно в виброгазобетоносмеситель, позволяя за счет эффекта разжижения снизить водотвердое отношение (В/Т) смеси при сохранении ее пластичности. Множество исследований [1–4] в настоящее время направлено на изучение механизма действия ПАВ в технологии помола цемента, а также в составе бетонных смесей. Отсутствие подобных гипотез в технологии автоклавного газобетона существенно осложняет возможность их применения как с точки зрения научных исследований, так и с точки зрения задач производства.

В настоящее время ООО «СинерждиКом» разработало собственную технологию получения анионных поверхностно-активных веществ путем окисления гидролизного лигнина. В основу молекулярного дизайна при создании высокоэффективных водорастворимых поверхностно-активных веществ линейки S-Drill™ CL положена такая химическая модификация лигнина, которая позволяет ввести в его структуру заряженные карбоксильные группы через образование соответствующих производных полимуконовой и полималеиновой кислот. Это обеспечивает широкие возможности контроля химического и физического поведения таких полимеров и их взаимодействия с твердыми частицами посредством изменения разветвленности цепей, электрических зарядов, плотности заряда и количества свободных функциональных групп. Одним из направлений использования новых поликарбоксилатов является их применение в качестве добавок-модификаторов при измельчении цементного клинкера, кварцевого песка, карбонатных пород, шлаков и других материалов.

Целью работы, выполняемой в рамках хозяйственного договора между Белорусским государственным технологическим университетом и ООО «СинерждиКом», являлось исследование влияния органических добавок на основе поликарбоксилатного лигнина линейки S-Drill™ CL на величину удельной поверхности известково-песчаного вяжущего при введении их на стадии помола, а также реологические свойства ячеистобетонных смесей и физико-механические свойства газобетона.

### Влияние ПАВ на величину удельной поверхности известково-песчаного вяжущего

В качестве сырьевых материалов для получения ячеистого бетона автоклавного твердения с маркой по плотности D500 в соответствии с СТБ 1570–2005 использовали портландцемент марки М500, известь негашеную кальциевую с содержанием активных

CaO и MgO 72–73 мас.%, песок молотый кварцевый с содержанием общего SiO<sub>2</sub> не менее 85 мас.%, порообразователь – алюминиевую пудру ПАП-1.

В состав сырьевых смесей вводили поверхностно-активные вещества линейки S-Drill™ CL, характеристика которых представлена в табл. 1.

Действующим веществом реагента S-Drill™ CL является натриевая соль поликарбоксилатного лигнина. Функциональными группами, обеспечивающими поверхностно-активные свойства поликарбоксилатного лигнина, являются карбоксилатные группы остатков полимуконовой и полималеиновой кислоты (рис. 1).

Поликарбоксилатный лигнин имеет узкое молекулярно-массовое распределение (низкую полидисперсность) и отличается постоянством состава (в нем отсутствуют примеси сахаров и минеральных веществ). Благодаря этим структурным и композиционным особенностям поликарбоксилатный лигнин обладает высокой поверхностной активностью. Таким образом, молекулы поликарбоксилатного лигнина способны адсорбироваться на поверхность размалываемых частиц, насыщая избыточный потенциал поверхности и предо-

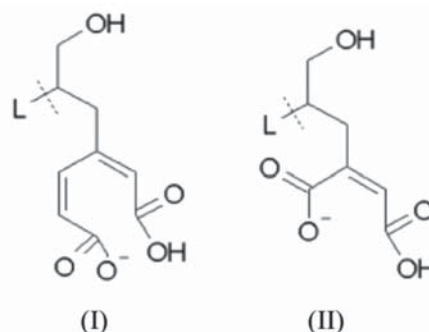


Рис. 1. Структурная формула поликарбоксилатного лигнина: I – остаток полимуконовой кислоты, II – остаток полималеиновой кислоты

Таблица 1

Характеристика поверхностно-активных веществ линейки

S-Drill™ CL

Шифр образца	S 40	S 47	S 39
Тип ПАВ	анионный	анионный	анионный
Плотность заряда	низкая	высокая	средняя
Молекулярная масса	высокая	низкая	средняя
Функциональные группы	фенолятные	карбоксилатные	карбоксилатные, фенолятные
pH среды	8,6	12,5	13,2

твращая притяжение других частиц и образование агломератов.

Используемые в работе поверхностно-активные вещества вводили на стадии помола известково-песчаного вяжущего. Дозировка добавок составляла 200–500 г на 1 т вяжущих компонентов (известь и цемент). В качестве контрольных приняты бездобавочные образцы, составы сырьевых смесей которых рассчитывались в соответствии с рецептурой ЗАО «Могилевский КСИ».

Помол известково-песчаного вяжущего осуществляли в лабораторной вибрационной мельнице. Время помола для всех образцов составляло 7 мин. Удельную поверхность определяли методом воздухопроницаемости с помощью прибора ПСХ-4. Результаты определения удельной поверхности в зависимости от дозировки и вида добавок представлены на рис. 2.

На основании полученных данных в качестве оптимальных выбраны следующие дозировки добавок: S 40 – 300 г/т, S 47 – 400 г/т, S 39 – 300 г/т. Указанные добавки, как показывают результаты эксперимента, являются интенсификаторами помола в исследуемой системе и независимо от различной плотности отрицательного заряда обеспечивают повышение удельной поверхности известково-песчаного вяжущего на 300–500 см<sup>2</sup>/г по сравнению с контрольными составами. ПАВ, как известно из литературных данных [5], адсорбируются поверхностью размалываемых частиц, насыщая избыточный потенциал поверхности и предотвращая притяжение частиц и образование агломератов, кроме того, молекулы интенсификатора, попадая в микротрещины измельчаемого материала, оказывают расклинивающее действие и тем самым способствуют повышению эффективности помола.

### Исследование реологических свойств ячеистобетонных смесей и физико-механических свойств газобетона

Полученные в результате помола образцы известково-песчаного вяжущего использовались для приготовления ячеистобетонных смесей и исследования их реологических свойств. Важной задачей при испытаниях органических добавок в исследуемой системе является подбор их оптимальных дозировок, при которых, выполнив роль интенсификаторов на стадии помола, добавки будут положительно влиять на реологические свойства смесей, процессы газовыделения и структурообразования, а также не окажут отрицательного воздействия на темп набора пластической прочности. Данные по влиянию добавок S-Drill™ CL на показатели, характеризующие реологические свойства смесей, представлены в табл. 2.

На основании оценки растекаемости смеси по Суттарду установлен эффект разжижения и пластифицирования смесей, что позволило для составов, химизированных анионными ПАВ, снизить В/Т с 0,65 до 0,6. Положительное влияние на изменение реологических свойств ячеистобетонных смесей позволяет произво-

Таблица 2

Основные показатели, характеризующие реологические свойства ячеистобетонных смесей

Состав	Влажность после автоклавной обработки, мас. %	ККК
Контрольный состав	21,6	71,8
S 40, дозировка 300 г/т	7,6	93,0
S 39, дозировка 300 г/т	10,1	75,0
S 47, дозировка 300 г/т	12,0	84,5
S 47, дозировка 500 г/т	13,2	67,0

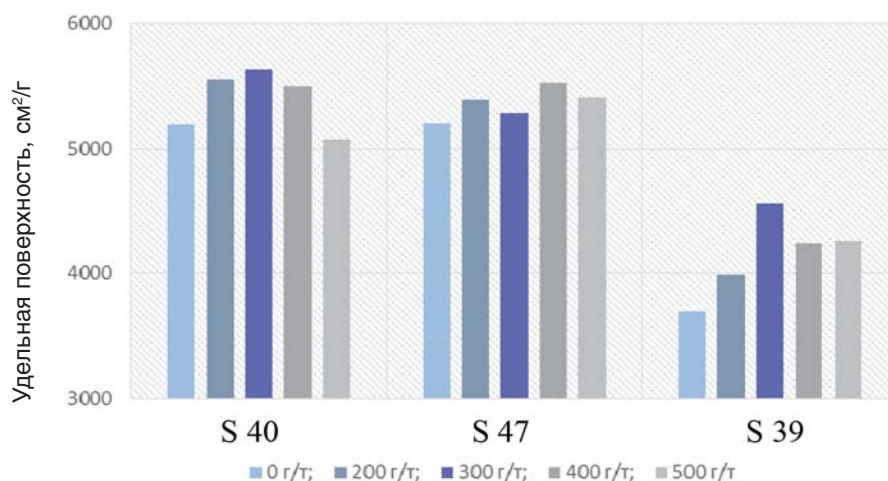


Рис. 2. Зависимость удельной поверхности известково-песчаного вяжущего от вида и дозировки добавок

Таблица 3

**Основные физико-механические свойства ячеистого бетона**

Состав	Растекаемость по Суттарду при В/Т 0,65, см	Время до набора пластической прочности (30 кПа), мин	Время вспучивания массива, мин
контрольный	30	190	9
S 40, 300 г/т	36	187	7
S 47, 400 г/т	32	190	5
S 39, 300 г/т	34	188	5

дить их корректировку по содержанию воды, что обеспечит совпадение процессов газовыделения и структурообразования в системе. В результате чего можно получить ячеистый бетон с оптимальной пористой структурой и улучшенными физико-механическими свойствами.

При проведении испытаний визуально было установлено, что исследуемые ПАВ существенно интенсифицируют процесс газовыделения, в том числе и на составах с пониженным В/Т. На основании результатов по определению высоты роста массивов установлено, что введение ПАВ позволяет снизить расход алюминиевой пудры на 8–10% по сравнению с контрольным составом.

На следующем этапе выполнения работ были выбраны составы с оптимальными дозировками для проведения испытаний по определению основных физико-механических свойств ячеистого бетона. Так как указанные добавки оказали влияние на процесс газовыделения и, соответственно, на среднюю плотность бетона, критерием выбора оптимальных составов являлся коэффициент конструктивного качества (ККК), а не показатели прочности. В табл. 3 представлены основные физико-механические свойства ячеистого бетона разработанных составов.

Установлено, что оптимальными дозировками с точки зрения влияния ПАВ на процессы газовыделения и структурообразования, как и на эффективность помола, по сравнению с контрольными составами, являются: 300 г/т – для S 40, 400 г/т – для S 47, 300 г/т – для S 39. Однако существенное влияние на повышение ККК газобетона оказала добавка S 47 при ее дозировке 300 г/т.

Полученные данные явились предпосылкой для использования результатов эксперимента в опытно-промышленных испытаниях в ЗАО «Могилевский КСИ». Предварительные промышленные испытания добавки проводились в помольно-сырьевом отделении приготовления известково-песчаного вяжущего. Дозирование добавок (дозировка 300–500 г/т) осуществлялось разбрызгиванием при помощи форсунки на транспортерную ленту подачи песка. Совместный помол извести и песка осуществляли в шаровой мельнице. Прирост

удельной поверхности известково-песчаного вяжущего составил 250–300 см<sup>2</sup>/г. Полученное в процессе опытно-промышленных испытаний известково-песчаное вяжущее было использовано для производства мелких стеновых блоков с маркой по плотности D500. В настоящее время продолжают работы в рамках производственных испытаний по оптимизации составов ячеистобетонных смесей с использованием добавок линейки S-Drill™ CL.

**Заключение**

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности использования анионных ПАВ линейки S-Drill™ CL в качестве комплексных добавок в технологии автоклавного ячеистого бетона. Результаты промышленных испытаний показали эффективность их применения в качестве интенсификаторов помола известково-песчаного вяжущего (прирост удельной поверхности 250–300 см<sup>2</sup>/г), а также в качестве добавок, позволяющих благодаря установленному эффекту разжижения снизить водотвердое отношение ячеистобетонных смесей, обеспечить формирование равномерной пористой структуры и получить материал с улучшенными физико-механическими и теплофизическими свойствами.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Кривобородов, Ю.П., Бурлов, А.Ю., Бурлов, И.Ю. Новый интенсификатор помола цемента // Технологии бетонов. – 2007. – № 3. – С.32–33.
2. Yamada K., Takahashi T., Hanehara S., Matsuhisa M. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer // Cement and Concrete Research. – 2000. – Vol. 30. – P 197–207.
3. Шахова, Л.Д., Маркова, С.В., Мишин, Д.А. Опыт применения интенсификаторов процесса помола нового поколения // Цемент и его применение. – 2011. – № 4. – С. 123–125.
4. Ломаченко, Д.В., Кудярова, Н.П. Влияние поверхностно-активных свойств добавок на размолоспособность портландцементного клинкера // Строительные материалы. – 2010. – № 8. – С. 58–59.
5. Земляной, К.Г., Московских, Н.Н. Влияние органических добавок на интенсивность помола сырья для магнезиально-силикатной керамики // Молодой ученый. – 2011. – № 6. – Т.1. – С. 79–82.

# ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА С НОВОЙ ДОБАВКОЙ POROMIX



**Антон Купава,**  
 AIRCRETE Europe  
 (г. Олдензал, Нидерланды)



**Ральф Баер,**  
 AIRCRETE Europe  
 (г. Олдензал, Нидерланды)



**Войтек Хорала,**  
 PMX Labs  
 (г. Познань, Польша)

пользуемые при традиционном производстве бетонов, не подходят для производства автоклавного газобетона. В связи с этим возникла необходимость в разработке новых специальных видов добавок для автоклавного газобетона. Программа их разработки и внедрения Aircrete Europe совместно с PMX Labs успешно завершилась линейкой новых добавок под торговой маркой POROMIX. Добавка POROMIX, среди прочих преимуществ, позволяет снизить потребление воды, уменьшить количество вяжущих компонентов, вместе с тем улучшая структуру пор и равномерность распределения массива в производственном процессе. Двойная выгода: (1) производить более высококачественный продукт и (2) оптимизировать рецептуру и тем самым снизить использование сырьевых материалов. Данный доклад представляет теоретические основы и рабочий механизм POROMIX, а также детальные результаты применения в производстве и заключения.

## Введение

Производство автоклавного газобетона – это специфический технологический процесс, где множественные факторы имеют прямое и косвенное влияние на процесс производства как таковой и на конечный результат. Эти факторы варьируются от выбора оборудования (т.е. технологии производства) до выбора формулы и качества сырьевых компонентов. Когда дело доходит до химических процессов, производство автоклавных газобетонных панелей и блоков более требовательный процесс, чем производство других видов бетонов. Профессионалы, работающие на производстве автоклавного газобетона, понимают, что процесс очень деликатен. И даже малейшие изменения – такие, как колебание качества сырьевых материалов, смена партии сырья или изменение температуры окружающей среды могут

## Предисловие

Добавки и пластификаторы десятилетиями использовались при производстве бетона для увеличения эффективности технологического процесса и улучшения качества готовой продукции. Однако изготовление автоклавного газобетона включает в себя различные химические реакции и, следовательно, добавки, ис-



иметь большое влияние на процесс производства и качество конечного продукта. Главной задачей технолога чаще всего является определение причины, приведшей к изменению в производстве, несмотря на кажущееся отсутствие изменившихся условий и исходных данных. Некоторые примеры этих сложно разрешимых вопросов включают в себя проблему созревания (например, недостаточный рост массива) или проблемы газообразования (например, газообразование слишком интенсивно), или проблемы с качеством (например, конечный продукт не соответствует качественным показателям заявленной прочности на сжатие, или морозостойкостью, усадкой при высыхании и т.д.)

В 2015 г. PMX Labs начала разработку нового поколения добавки, специально подобранной для газобетонной отрасли. Эта добавка под названием **POROMIX** является многокомпонентной смесью на основе модифицированного поликарбоксилата эфира (PCE), подходящего для производства автоклавного газобетона. Выбор натуральных полимерных компонентов, среди прочего, и технология смешивания учитывают теоретические основы и требования по производству автоклавного газобетона.

PCE используются в цементной и бетонной отраслях как суперпластификаторы, однако не могут напрямую использоваться в производстве автоклавного газобетона. Пластификаторы и добавки применяются в бетонной отрасли в основном для гидратации цемента, в то время как при производстве автоклавного газобетона необходимо учитывать не только гидратацию цемента, но и другие реакции, связанные с использованием иных сырьевых компонентов, таких как негашеная известь, гипс и алюминиевая пудра. В дополнение к этому традиционные немодифицированные PCE не влияют ни на процесс созревания автоклавного газобетона, ни на термический баланс процесса.

В наши дни большинство заводов по производству автоклавного газобетона не имеют своих исследовательских центров в связи с их высокой стоимостью капитальных инвестиций. Однако основой высококачественного производства по оптимальной себестоимости является улучшение и технологии, и управления процессом. PMX Labs была создана, чтобы улучшить и предоставить добавки и информацию заводам по производству автоклавного газобетона по всему миру. Сегодня команда PMX Labs ведет множество проектов по оптимизации процесса, рассматривая как химическую, так и механическую составляющие. Этот метод начинается с индивидуальной раз-

работки добавок в зависимости от потребностей предприятия и продолжается во время применения POROMIX при поддержке представителей PMX Labs на предприятии и, как результат, позитивно влияет на производительность.

### Ключевые преимущества POROMIX

- Снижение общего количества воды в рецепте от 3–6% на м<sup>3</sup> автоклавного газобетона.
- Снижение общего количества цемента и извести в рецепте от 4–10% на м<sup>3</sup> автоклавного газобетона.
- Улучшенное качество сырого массива (улучшенное распределение пор, более низкое слипание и увеличение пластичности массы).
- Снижение седиментации сырого массива и, как результат, более равномерное распределение плотности между верхом и низом готового массива.
- Улучшенные показатели качества конечного продукта (повышенная морозостойкость, более плотные углы и грани).
- Возможность уменьшения времени созревания и снижение времени достижения набора пластической прочности массива перед резкой.
- Редукция воды в массиве позволяет тем самым снизить в автоклаве потребление энергоносителей и/или сократить общее время автоклавирования.

### Развитие производства автоклавного газобетона

Увеличение качественных характеристик и улучшение конструкционных свойств газобетона позволили ему занять достойное место среди других строительных материалов. Использование добавок для выпуска автоклавного газобетона способствует уменьшению производственных затрат, улучшает качественные характеристики продукта и делает его более экологичным по причине снижения потребления воды и энергоресурсов.

Рассматривая развитие технологии производства автоклавного газобетона, следует выделить несколько основных этапов. Отрасль работала десятилетия, чтобы достичь улучшений в технологии производства для взятия новых высот и установления новых стандартов (рис. 1).

С 1930 по 1950 г. технология была основана на использовании песка и извести с относительно низкой прочностью на сжатие. Позже, с 1950 по 1970 г., в результате добавления цемента в рецептуру прочность на сжатие увеличилась. Исследования и практические испытания после 1970 г. показали позитивный

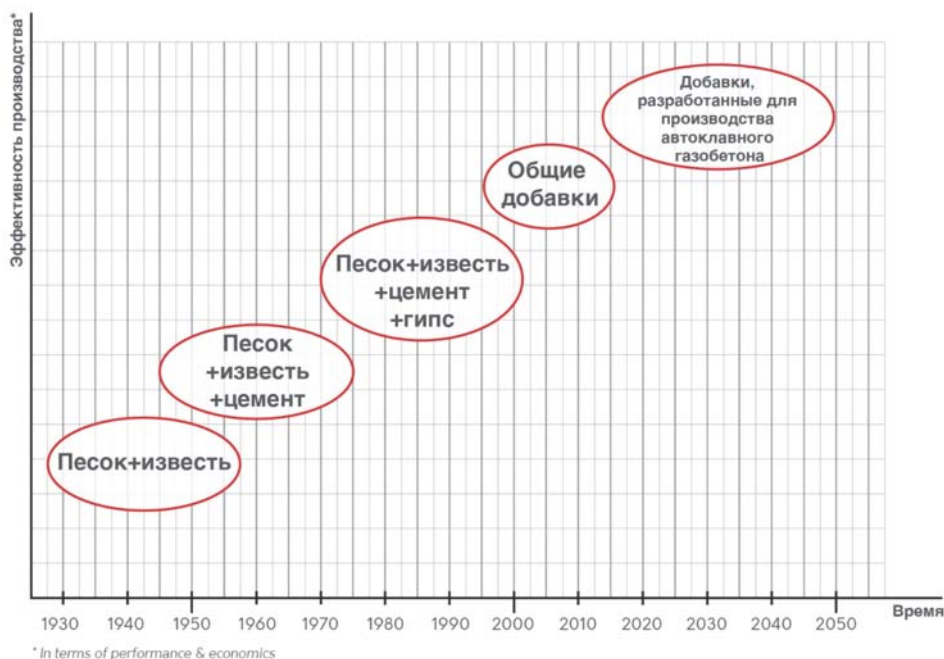


Рис. 1. Основные этапы развития газобетонной отрасли

эффект при добавлении гипса в рецептуру для дальнейшего улучшения прочности продукта и оптимизации процесса производства. Развитие в производстве автоклавного газобетона позволило изготавливать продукт с более низкой плотностью и с новыми пределами коэффициента теплопроводности.

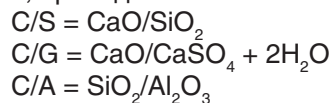
В начале 2000-х гг. пластификаторы из других областей, особенно традиционного бетона, начали использоваться на заводах по производству автоклавного газобетона в целях уменьшения количества воды и улучшения пластичности массива (т.е. оптимизации времени от созревания до резки). В последнее время началась новая фаза, обозначенная добавками для автоклавного газобетона, такими как POROMIX, специально разработанными и представленными на рынке.

### Химическое обоснование – теории

**POROMIX разработан на основе глубоких знаний процесса производства автоклавного газобетона, дополненных прикладными исследованиями. В основу разработки продукта положены две ключевые теории, которые описаны ниже.**

**Теория 1.** Теория химического баланса описывает тепловой баланс в термодинамической системе производства. Она основана на том, что энергия, необходимая для реакции, должна быть эквивалентна энергии, необходимой для преодоления активационного барьера изменения фазы – кристаллизации. Это экзотермическая реакция, которая четко видна во время автоклавирования.

**Теория 2.** Теория минерального баланса говорит, что количество исходных минералов должно соответствовать условиям реакции, чтобы достичь оптимальных результатов. Особое внимание следует обратить на соотношения, приведенные ниже:



В разработке и применении POROMIX содержание минералов и их реакционная способность смоделированы и рассчитаны для понимания оптимизации потенциала. Сокращение или увеличение определенных материалов может привести к неоптимальным результатам и спровоцировать необоснованные материальные затраты. Например, увеличение количества вяжущих компонентов не приводит к пропорциональному увеличению прочности на сжатие конечного продукта, но это всегда приводит к дополнительным затратам. В случае невозможности подбора оптимального соотношения ключевых минеральных компонентов эту задачу возможно решить с помощью POROMIX.

### Ограничения эффективности

Заводы, использующие добавки, имеют потенциальное преимущество перед заводами, которые их не используют. Эффективность добавок частично зависит от того, насколько хорошо на практике применяются вышеперечисленные теории. Это означает, что заводы с трудностями в процессах кристаллизации или проблемами материального баланса не до-

стигнут полного потенциала при применении добавок.

На заводах по производству автоклавного газобетона наиболее часто встречаются следующие проблемы:

- неоптимальный выбор сырья;
- отсутствие данных химического состава сырья;
- отсутствие оптимальной рецептуры;
- неоптимальный фракционный состав (особенно песка);
- неоптимальное оборудование смешивания и заливки;
- неоптимальные условия зоны созревания;
- неоптимальные параметры процесса автоклавирования.

Все эти факторы могут негативно отразиться на качестве и себестоимости продукции и даже введение добавок не решает эти проблемы. Принимая это в внимание, специалисты PMX Labs предлагают также необходимые изменения в рецептуре при добавлении добавок.

### Рабочие механизмы

Основываясь на теориях, описанных ранее, добавка POROMIX разработана для улучшения материального и энергетического баланса. Распределение частиц и предотвращение их коагуляции достигнуто благодаря точному дизайну механизма работы POROMIX и его своевременное введение при смешивании компонентов (рис. 2).

Следующие четыре механизма позволяют достичь улучшений в реакции.

**1. Механизм уменьшения трения (смазка/скольжение).** Механизм работает на полимерных продуктах с относительно короткими молекулярными цепями и низкой молекулярной массой. Эти виды компонентов абсорбируются на поверхности частиц, образуя антиадгезионный слой. Этот слой позволяет определенное скольжение и уменьшение трения частиц в смеси (рис. 3), что в свою очередь приводит к снижению потребления алюми-

ния, лучшему распределению частиц в массиве и образованию меньших по размеру пор.

Данный механизм помогает также предотвратить седиментацию, вследствие чего уменьшается разница между плотностями и прочностью верха и низа массива.

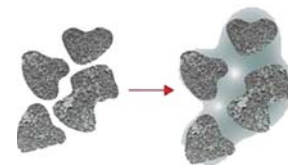


Рис. 3. Механизм уменьшения трения массива.

**2. Электростатический механизм.** Среди прочего добавка включает натуральные полимеры с электростатическим зарядом. Они абсорбируются на поверхности и заряжают частицы сырья. Таким образом, одинаково заряженные частицы отталкиваются друг от друга, компоненты раздроблены и смесь имеет более высокую вязкость (рис. 4). Этот механизм также объясняется теорией Miceli (англ. Miceli Colloids Theories) и другими исследованиями по этой теме.

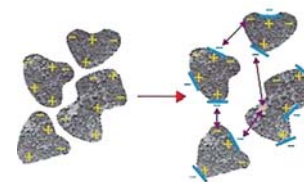


Рис. 4. Электростатический механизм

**3. Сферический механизм** влияет только, когда особо отобранные и разработанные цепи полимеров оседают на поверхности частиц сырья компонентов. Основание полимерной цепи присоединено к частице, в то время как остальная ее часть обволакивает частицу (рис. 5). Такой механизм создает физическое пространство между частицами, в дальнейшем способствуя их равномерному распределению, в результате чего плотность газобетона более однородна, прочность на сжатие повышена и улучшены показатели теплопроводности.

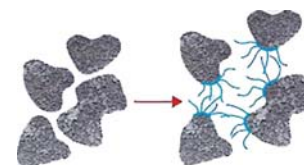


Рис. 5. Сферический механизм



Рис. 2. Образование нежелательной коагуляции при смешивании

**4. Эффект водного поверхностного натяжения.** Добавка уменьшает поверхностное натяжение воды увеличивая при этом площадь гидратации (рис. 6). Результатом этого эффекта является одинаковая гидратация частиц компонентов сырья, которая достигнута с меньшим количеством воды.

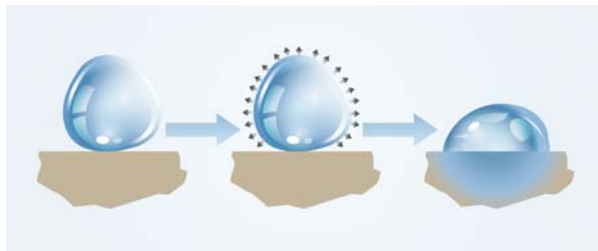


Рис. 6. Эффект водного поверхностного натяжения

### Важность снижения потребления воды

Хотя вода необходима для протекания определенных химических реакций в процессе производства, ее использование должно быть оптимально, так как это несет за собой увеличение затрат, среди которых особое место занимает процесс автоклавирования. С POROMIX и его механизмом уменьшения поверхностного натяжения воды ее количество, необходимое для производства, может быть серьезно уменьшено.

Одним из основных параметров, подлежащих контролю в процессе производства автоклавного газобетона, является водотвердое соотношение (В/Т) – отношение количества воды в смеси (включая воду с песчаного и обратного шламов, воду, используемую в алюминиевой суспензии, дополнительную горячую и холодную воду) к общему количеству сухих компонентов. Вода имеет максимальную теплоемкость из всех компонентов, используемых в газобетонной смеси, а именно для на-

грева и перехода в парообразное состояние 1 кг воды необходимо 2257 кДж. Это большое количество энергии должно быть получено с помощью парового котла либо другого источника энергии (рис. 7). Для массивов с большим содержанием воды необходим более длительный цикл автоклавирования, т.к. большее количество воды должно быть переведено в парообразную форму и удалено из массива. Меньшее количество воды в массиве напрямую связано с уменьшением затрат на энергоресурсы. Потенциально, если мощность автоклава – это слабое место в производственном цикле, уменьшение цикла автоклавирования может увеличить производительность завода.

Согласно теории теплового баланса, чем больше В/Т соотношение, тем больше энергии необходимо для преодоления активационного барьера. Приведенный ниже график показывает позитивную взаимосвязь В/Т соотношения и энергии, затраченной для двух разных плотностей, 400 кг/м<sup>3</sup> и 600 кг/м<sup>3</sup> (рис. 8). По нему чет-

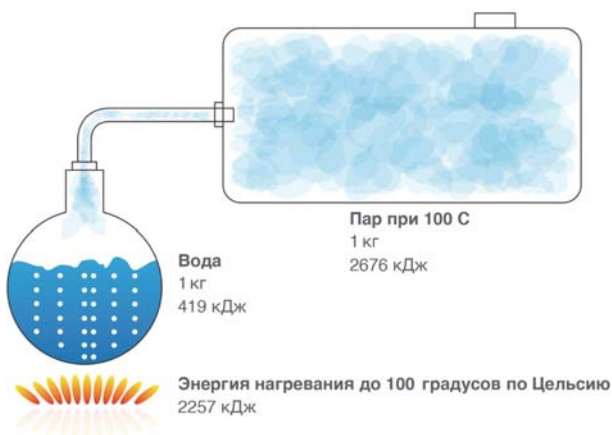


Рис. 7. Для нагрева и перехода в парообразное состояние 1 кг воды необходимо 2257 кДж

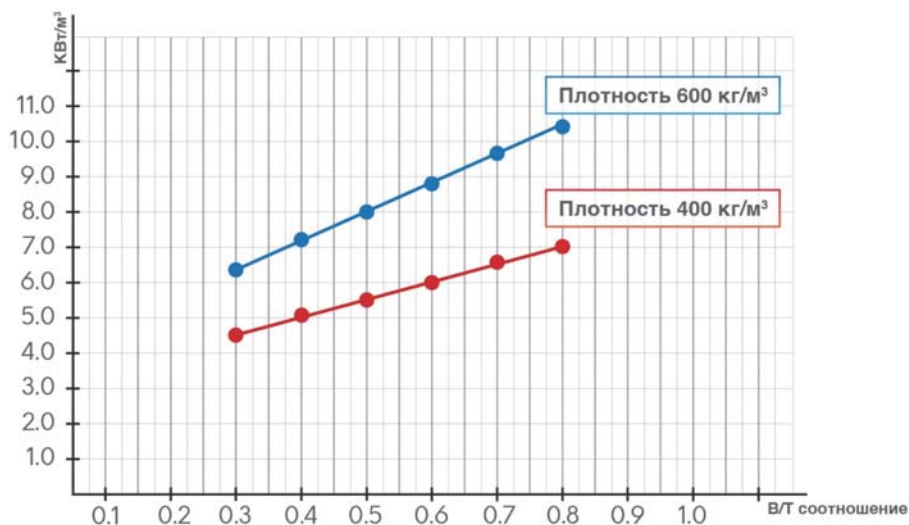


Рис. 8. Взаимосвязь между В/Т соотношением и затраченной энергией

ко видно, что чем больше воды в массиве, тем больше энергии нужно для завершения реакций. Слишком большое количество воды может привести к слипанию и сложностям при удалении воды из массива, увеличивая риск неавтоклавированных участков и автоклавных трещин. Большее количество воды в автоклаве также приводит к образованию большего количества нежелательного конденсата и потенциальному увеличению влажности конечного продукта.

### Результаты применения POROMIX

На сегодняшний день POROMIX внедрен на множестве заводов по производству автоклавного газобетона по всему миру. Несколько заводов прошли успешные испытания с 2016 г. и уже используют добавку в своем производстве на полную мощность. Перед применением POROMIX от заводов необходимо получить дополнительную информацию.

Основываясь на полученной информации, подбирается наиболее подходящий тип POROMIX и рассчитывается его теоретический расход. Представитель PMX Labs должен нахо-

диться на производстве при тестировании, чтобы убедиться в правильности применения добавки и провести необходимые корректировки.

Следующие графики показывают сравнение рецептур с четырех заводов в Европе и Латинской Америке (рис. 9, 10). Пожалуйста, учитывайте, что результаты, представленные с заводов, имеют брутто – объем массива 6,6 м<sup>3</sup>, а нетто – объем массива 5,4–5,6 м<sup>3</sup>.

В итоге положительный эффект использования POROMIX выявлен при производстве разных плотностей от 350 до 500 кг/м<sup>3</sup>. Можно отметить, что даже для одной и той же плотности возможно несколько вариантов снижения количества вяжущих и воды. Это связано с тем, что каждый завод использует свои собственные оптимальные рецептуры, которые в большинстве случаев зависят от качества и доступности сырьевых материалов (географическое расположение и цена часто решающие факторы).

Важно отметить, что эффективность POROMIX подтверждена в обоих видах технологии (горизонтального и вертикального расположения массива при резке).

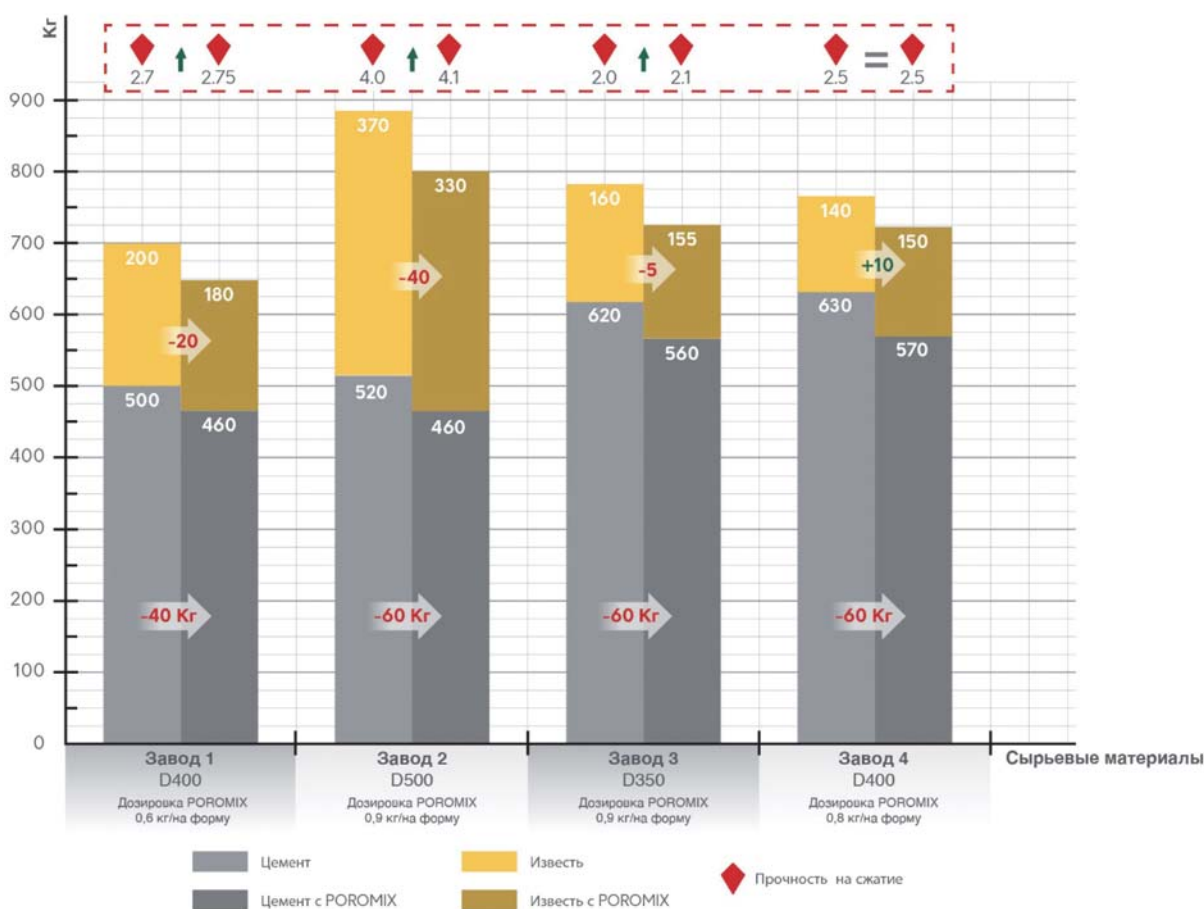


Рис. 9. Сравнение снижения потребления извести и цемента в рецептурах с и без POROMIX, а также результаты прочности на сжатие

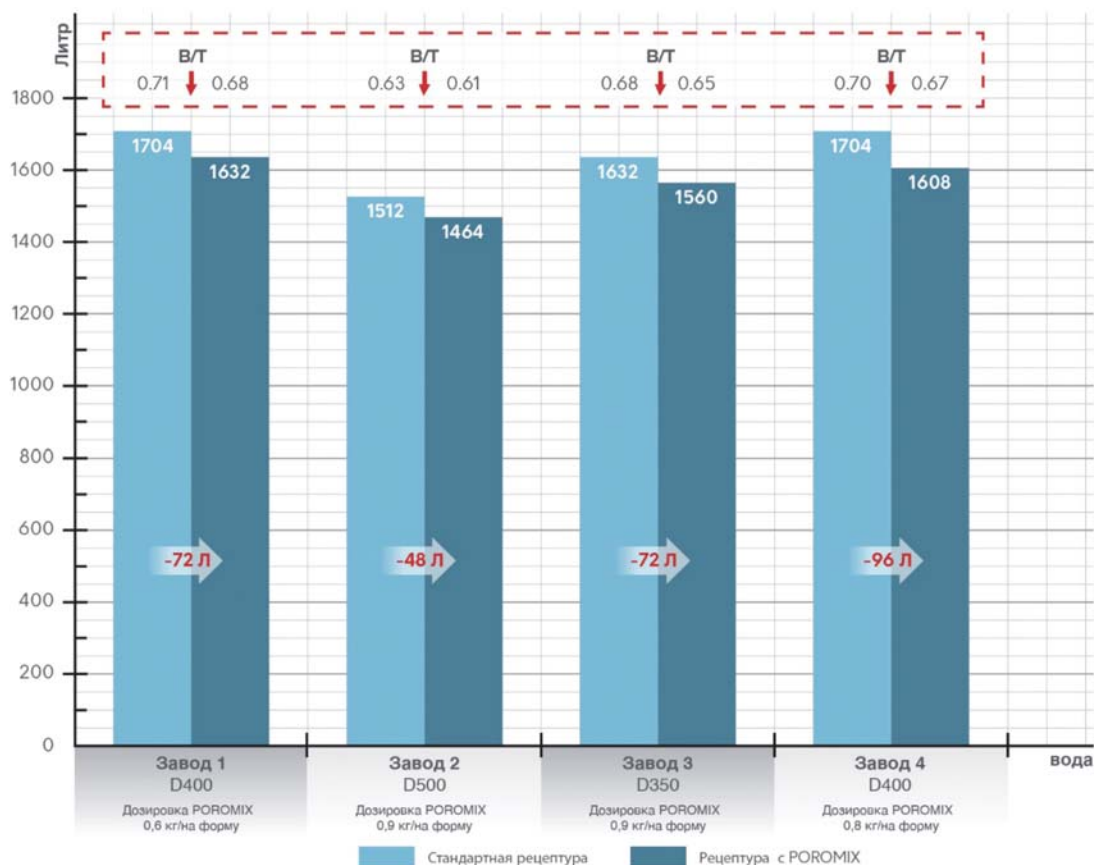


Рис. 10. Количество воды и уменьшение В/Т соотношения в сыром массиве с и без POROMIX

В конце концов индивидуальный подход к клиенту – это ключ к достижению желаемой цели, что в реальности может привести к значимой экономической выгоде напрямую за счет снижения потребления сырьевых компонентов. Из-за специфики производственного процесса автоклавного газобетона при применении POROMIX необходима корректировка рецептуры, чтобы добиться наиболее существенного снижения сырьевой составляющей. Данный модифицированный рецепт с использованием добавки остается стабильным и не будет требовать корректировки до тех пор, пока качество сырья остается в определенных рамках.

### Выводы

У каждого предприятия по производству автоклавного газобетона есть возможность для оптимизации и улучшения рецептур. POROMIX позволяет снизить потребление и более эффективно использовать воду и сырьевые материалы благодаря своему взаимодействию с ними. Эффективность POROMIX зависит от особенностей применения и индивидуальных характеристик предприятия.

Новый этап развития технологии по производству автоклавного газобетона будет раз-

виваться в направлении химии. Он позволит производить более качественный продукт дешевле с использованием POROMIX. Ожидается, что в ближайшем будущем POROMIX станет стандартным компонентом для оптимизации производства автоклавного газобетона, так же как добавки, используемые для производства обычного бетона в наши дни.

### ЛИТЕРАТУРА

1. M. Haas, «The future of AAC – from a material scientist's point of view, Autoclaved Aerated Concrete» Limbachiya and Roberts (eds) Taylor & Francis Group, p. 187, London 2005.
2. Taylor H.F.W., «The chemistry of cements» Academic Press, London 1964.
3. Wittmann (ed), «Advances in Autoclaved Aerated Concrete» Balkema, Rotterdam, 1992.
4. M. Skorniewska, M. Abramowicz, G. Zapotoczna, «Chemical admixtures in physicochemical processes during manufacture of autoclaved aerated concrete (AAC)» Prace, ICiMB N 12, p. 88, 2013.
5. Hong S.-Y., Glasser F.P., «Phase relations in the CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O system to 200 °C at saturated steam pressure» Cement and Concrete Research 2004, Vol. 34, p. 1529–1534.
6. B. Badziąg, «Types of chemical admixtures and their influence on cement concrete properties» Izolacje, 11/12/2016.

# СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ГАЗОБЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ



ООО ТК «Савитар»

**Бовыкин И.А.**,  
главный технолог завода  
ООО ПСО «Теплит»  
(г. Берёзовский, Россия)

**Пинчук А.Ю.**,  
главный технолог  
ООО ТК «Савитар»  
(г. Екатеринбург, Россия)

На сегодняшний день не только в Российской Федерации целесообразность использования пластификатора при производстве строительных материалов, изделий и конструкций из тяжелых бетонов не требует никаких обсуждений. Сказать то же самое по отношению к текущей производственной действительности и устоявшимся технологическим приемам касательно газобетона автоклавного твердения пока нельзя.

На первый взгляд в технологическом процессе производства строительных материалов из газобетона автоклавного твердения **не видится целесообразным** придание бетонной смеси на стадии формирования дополнительной подвижности за счет применения пластификатора. Сложный характер целой системы взаимозависимостей и взаимодействий, которые влияют на качество формируемого массива газобетона, не способствует тому, чтобы ввести еще один фактор, требующий системного и полифункционального учета. В то же время при компенсации негативных проявлений, возникающих из-за сырьевых и (или) технологических особенностей в процессе производства газобетона, полученный результат зачастую указывает на то, что для достижения

требуемого улучшения регулирования подвижностью смеси бетона только за счет корректировки рецептуры уже недостаточно.

В описанной ситуации использование дополнительной возможности эффективно воздействовать на негативные факторы **уже видится** не слишком значительным усложнением технологического процесса. На сегодняшний день результаты общения на данную тему (лично или по телефону) с более чем половиной главных технологов действующих автоклавных заводов РФ позволяют резюмировать следующее:

- большинство технологов независимо от различий в технологиях производства и сырьевых базах не отрицают перспективность возможности применения пластификатора в технологическом процессе на этапе формирования массива газобетона;
- накопленный технологами негативный опыт применения пластифицирующих продуктов указывает на то, что требования к свойствам пластификатора для технологического процесса формирования массива газобетона существенно отличаются от основных свойств пластификаторов, применяемых на тяжелых бетонах.

Таким образом, адаптация для технологического процесса производства газобетона автоклавного твердения давно отработанной на тяжелом бетоне практики применения пластификатора было самым очевидным направлением поиска положительного разрешения описанной производственно-технологической дилеммы.

В ноябре 2017 года в городе Екатеринбурге в нашем докладе на конференции НААГ было рассказано об уже существующей практике постоянного применения пластифицирующих добавок «ИА1215» и «ИА1215СИЛИКАТ» в

производственном процессе ряда российских газобетонных заводов за период с ноября 2015 по ноябрь 2017 года. Материал, изложенный в настоящем докладе, посвящен основным подмеченным особенностям, возникающим в технологических процессах на производствах газобетона автоклавного твердения в результате перехода на постоянное применение добавок серии «ИА1215».

Сразу уточним и просим обратить ваше внимание на то, что целью данного изложения не является перечисление особых свойств пластифицирующих добавок «ИА1215» или «ИА1215СИЛИКАТ». Главной целью является по возможности обоснованно рассказать о том, какие особенности появляются на разных этапах производства газобетона автоклавного твердения, если введение в технологический процесс пластификатора не привело к следующим основным негативным проявлениям:

I. Усиление прохождения реакции остаточного газовыделения, вследствие чего возможны:

I.I. деформация сверх допустимого поверхностности массива газобетона;

I.II. возникновение поверхностных расслоений.

II. Происходит большая просадка формируемого массива (30 мм и более).

III. Заметно увеличивается время набора пластической прочности (от 10 мин.).

Рецептуры пластифицирующих добавок для газобетона «ИА1215» и «ИА1215СИЛИКАТ» (далее модификатор или просто добавка) отработывались так, чтобы названные негативные проявления в технологическом процессе не возникали. Производителем модификатора является ООО ТК «Савитар» (официальный сайт <https://uralhimprod.ru>), которое находится в городе Екатеринбурге. На начало строительного сезона 2018 года в Российской Федерации модификатор применяли более 5 автоклавных заводов.

Далее изложение материала будет построено следующим образом. Сначала рассматриваем механизм или проявления различных влияний ПАВ в бетонной смеси, затем описываем возникающие в связи с этим позитивные и иные факторы и (или) особенности. Воздействия, оказываемые на бетонную смесь модификатором, определяются свойствами основных поверхностно-активных веществ, составляющих его рецептуру. Поэтому применение модификатора будем рассматривать как введение в бетонную смесь поверхностно-активных веществ (далее ПАВ).

Бетонная смесь, как известно, представляет собой структурированную дисперсную систему. Введение в нее ПАВ увеличивает проника-

ющую способность воды. Это положительный фактор, влияющий на улучшение качества смешивания бетонной смеси. Одновременно с ним на улучшение качества смешивания будет так же влиять и то, что при использованной дозировке модификатора уже через небольшой промежуток времени максимально возможное количество частиц бетонной смеси окаймляются адсорбционными пленками ПАВ. Вследствие этого для бетонной смеси заметно снижаются все издержки, связанные с преодолением трения между частицами всех компонентов, составляющих ее рецептуру. По этой же причине приводу смесителя требуется меньшая мощность для перемешивания замеса. Соответственно происходит и снижение расхода электроэнергии.

К уже описанным положительным факторам, возникающим в бетонной смеси в связи с образованием адсорбционных пленок ПАВ, надо добавить еще следующие. Поверхность частиц бетонной смеси, окаймленных адсорбционными пленками ПАВ, получает более высокую агрегативную устойчивость. Вследствие этого оседание смеси бетона в присутствии ПАВ происходит медленнее. Поэтому же для алюминиевой суспензии повышается качество распределения и эффективность воздействия на весь объем бетонной смеси после начала процесса газообразования. Соответственно при использовании в качестве газообразователя алюминиевой пудры применение модификатора позволяет частично сблизить качество ее воздействия на бетонную смесь с качеством воздействия суспензии, полученной на алюминиевой пасте.

Вместе со всем перечисленным позитивом при построении технологического процесса надо учитывать, что наличие адсорбционных пленок ПАВ все же препятствует возникновению в бетонной смеси межмолекулярных взаимодействий. В результате против обычного возрастают временные интервалы как для прохождения самих химических реакций, так и процессов, связанных с нарастанием скорости их прохождения.

В то же время данный фактор вместе с уже упомянутым снижением внутреннего трения бетонной смеси будет способствовать тому, что существенная часть загрязняющих сырье примесей не попадет в структуры, возникающие в результате межмолекулярных взаимодействий. То есть при невозможности уменьшить процент загрязнения сырья пылевидными и (или) глинистыми, и (или) илистыми частицами применение «ИА1215» или «ИА1215СИЛИКАТ» способствует возможности получить более качественные характеристики газобетона.



Рассматриваемые ниже процессы в бетонной среде, происходящие по факту присутствия в ней ПАВ, также будут поддерживать данное воздействие.

После того как в результате нарастания процесса газообразования в бетонной смеси происходит быстрое разрастание площади внутренней поверхности, начинает возрастать и концентрация ПАВ на границе раздела сред газ – бетонная смесь. Далее также в соответствии со своими свойствами ПАВ снижают поверхностное натяжение смеси бетона. Вследствие этого на границе раздела сред возникает раскливающее давление. Вектор силы данного воздействия на все составляющие бетонную смесь частицы имеет направление из внутренних областей к границе раздела сред (наружу). Поэтому близ границы раздела сред газ – бетонная смесь начинает расти концентрация наиболее легких, маленьких и подвижных на этот момент частиц.

Для газобетона, в который модификатор введен в количестве близком или большем чем 0,01% от общего количества вяжущих на 1 м<sup>3</sup> формы, одним из результатов данного влияния ПАВ будет таким: межпоровые перегородки будут представлять собой не просто однородный бетон, а среду, которая будет дополнительно структурирована в результате воздействия раскливающего давления.

Для загрязняющих песок примесей это станет второй причиной, почему их влияние на прочностные характеристики газобетона уже не будет таким критичным. Под воздействием раскливающего давления, как наиболее легкие и подвижные частицы в бетонной смеси, сначала они будут концентрироваться близ границы раздела сред. К моменту же потери бетонной смесью подвижности большая масса из них окажется во внутренних областях пор, а не внутри структуры межпоровых перегородок.

С целью получения следующей выгоды для технологического процесса производства газобетона рассмотрим процесс нарастания концентрации ПАВ на границе раздела сред газ – бетонная смесь с еще одной стороны. В определенный момент концентрация ПАВ возрастет настолько, что получившуюся в результате этого пленку ПАВ можно будет уже рассматривать как пену. Пена же, как структура, обладает существенной несущей способностью. Все еще действующие производства пенобетона продолжают это активно использовать. Иначе говоря, определенное время высота сформированного массива газобетона может поддерживаться и за счет несущей способности пены. Соответственно за счет этого

можно высвободить из рецептур газобетона определенное количество вяжущих, включенных в них для гарантированной минимизации возможной просадки формируемого массива ячеистого бетона. Производственная практика показывает, что при этом не происходит ухудшение прочностных характеристик.

Рекомендуемые ООО ТК «Савитар» рабочие дозировки модификатора несопоставимо меньше даже для норм расхода пластификаторов, рекомендуемых производителями для тяжелых бетонов. Тем не менее результаты, полученные на действующих производствах, показывают, что и при этом можно рассчитывать на существенную экономию вяжущих. Часть из применяющих модификатор заводов использовали этот технологический прием, что позволило им сэкономить 5–10 кг цемента на 1 м<sup>3</sup> формы в зависимости от плотности газобетона и дозировки модификатора. Одним из подтверждающих это примеров является производственный опыт ООО «Газобетон ДВ» (г. Хабаровск), изложенный в отзыве об испытаниях модификатора, который можно посмотреть на сайте ООО ТК «Савитар» ([www.uralhimprod.ru](http://www.uralhimprod.ru)).

Другим свойством пены является стремление усреднить все свои ячейки (пузырьки) по наименьшей из них. Поэтому во многих случаях даже при минимальном количестве модификатора в структуре экспериментального образца газобетона можно наблюдать, что количество крупных или эллиптических ячеек по отношению к стандартному образцу уменьшается. По этой же причине на стадии формирования вдруг возникший избыток газа будет в большинстве случаев использован для образования новых ячеек, а не станет причиной образования трещины или полости в структуре массива газобетона.

Процесс разрушения пленок ПАВ (пены) предположительно тоже может быть полезным для технологического процесса производства газобетона. Как известно, даже в тяжелом бетоне после его схватывания 5–7% цемента оказываются не гидратированными. Соответственно если в технологический процесс производства газобетона ввести модификатор и снизить до минимума водотвердое соотношение, то высвобождение определенного количества воды в результате процесса разрушения пленок ПАВ (пены) может поспособствовать тому, что будет гидратировано дополнительное количество цемента. Вследствие этого могут улучшиться прочностные характеристики газобетона. Однако накопленный производственный опыт пока не позволяет определить, на какие критерии надо ориентироваться, что-

бы исключить негативное влияние на это несогласованности временных сроков прохождения рассматриваемых процессов.

После того как бетонная смесь теряет свою подвижность влияние модификатора на происходящие в ней процессы становится малозначительным.

Все изложенное выше относится как к литевой, так и к ударной или вибротехнологии производства газобетона автоклавного твердения. Отличие заключается лишь в требовании различной силы воздействия модификатора на бетонную смесь. Также подмечено, что на ударной или вибротехнологии при первоначальном определении рабочей дозировки использования модификатора не надо добиваться того, чтобы залитая с модификатором бетонная смесь на ударном (вибро) столе поднялась до того же уровня, что и обычная. Этого может и не произойти. Согласно имеющейся производственной практике на действенной дозировке модификатора за время отстоя бетонная смесь в «неподнявшихся» формах подрастает до нормы. То есть определение рабочей дозировки модификатора на ударной или вибротехнологии первоначально целесообразно проводить не от меньшего количества к большему, а наоборот.

В большинстве случаев отличия в сырьевой базе и ее особенности не оказывают критического влияния на проявление ПАВ своих свойств. Вместе с тем нельзя не заметить, что при одних и тех же параметрах, характеризующих сырьевые компоненты бетонной смеси, бывают случаи, когда технологический процесс очень требовательно относится к вносимым изменениям. Однако композиция ПАВ, входящая в состав модификатора, в ряде случаев, когда по разным причинам дозировка добавки составила порядка 1000 мл на 1 м<sup>3</sup> формы, позволила сохранить требуемую геометрию формируемого массива газобетона. Общее количество массивов, ушедших в обратный шлам, на всех апробациях составляет менее 0,5% от всех сделанных экспериментальных заливок. Заметим также, что существенное снижение общего процента некондиции является одним из основных факторов, на который ссылаются при обосновании перехода на постоянное применение модификатора.

На сегодняшний день общая производственная практика применения модификатора не исчисляется десятилетиями, поэтому пока существует вероятность получить и, так сказать, дополнительный эффект от его использования. Например, для ООО «Пораблок» (г. Курган, Челябинская обл.) одним из основных фактов, повлиявших на принятие решения

об использовании модификатора в строительном сезоне 2017 года, был тот, что принципиально уменьшилось количество слипаний блоков, находящихся в одном вертикальном ряду. Для ООО ПСО «Теплит» (г. Берёзовский, Свердловская обл.) применение «ИА1215» в течении двух лет позволяет качественнее согласовать прохождение процессов твердения цемента и газообразования в период роста массива газобетона и набора им пластической прочности. На сайте ООО ТК «Савитар» (<https://uralhimprod.ru>) можно ознакомиться с предоставленными об этом документами от названных заводов.

Продолжая тему о парадоксальном в связи с применением модификатора, необходимо рассказать о следующем. Какое-то время без продолжительного обсуждения отсутствия увеличения расплыва бетонной смеси по Суттарду после введения модификатора в количестве от 100 мл на 1 м<sup>3</sup> формы и более не проходила ни одна апробация. Чтобы не возвращаться к этому, дадим следующее пояснение. Основным фактором, улучшающим пластические свойства бетонной смеси для формирования массива газобетона после введения модификатора, является снижение ее сопротивления деформации сдвига. Данное снижение сопротивления деформации сдвига сохраняется до момента потери подвижности бетонной смеси. Величина этого воздействия в основном зависит от качества воздействия модификатора на бетонную смесь, его дозировки и водотвердого соотношения.

Иначе говоря, если тиксотропия (способность бетонной смеси изменять свои реологические свойства под влиянием внешних воздействий и восстанавливать их после прекращения этих воздействий) позволяет успешно применять ударную или вибротехнологию для производства газобетона, то заметное против обычного снижение у бетонной смеси сопротивления деформации сдвига даже при отсутствии увеличения ее расплыва, измеряемого по Суттарду, является достаточным условием для использования всех вышеописанных преимуществ от введения ПАВ в бетонную смесь. Возможно, со временем при прочих равных это может привести и к частичному нивелированию качества результатов, получаемых на литевой, ударной или вибротехнологии.

Тем не менее по-прежнему о том, что пластические свойства бетонной смеси соответствуют требованиям технологического процесса, можно судить по тому, как прошла реакция остаточного газовыделения. Например, если газовыделения не сильные и во многих точках по всей поверхности формы, а не только близ

ее середины, это будет свидетельствовать о сохранении ячеистым бетоном хорошей формируемости (даже с запасом). Когда центров газовыделения останется только 4–5 и располагаться они будут вдоль центральной части формы, это будет свидетельствовать о том, что пластичности у бетонной смеси уже без излишков. Варианты прохождения процесса остаточного газовыделения, когда формируемость приблизилась к своим минимальным характеристикам, наблюдались различные, поэтому стандарт этого на каждом производстве будет свой.

Водоредуцирующие свойства модификатора позволяют на литьевой технологии при первоначальном введении снизить используемое водотвердое соотношение на 4–7% при дозировке порядка 150–200 мл на 1 м<sup>3</sup> формы. При этом, если исходное значение водотвердого соотношения было не менее 0,52, то возможен заметный прирост прочностных характеристик. Опять-таки, если на это отрицательно не повлияет несогласованность временных сроков прохождения основных, влияющих на это процессов в бетонной смеси.

Прямой зависимости между снижением водотвердого соотношения в результате применения модификатора и уменьшением влажности газобетона по окончании полного технологического цикла замечено не было. Тем не менее, если режим работы автоклава и качество используемого в нем пара не вызывают нареканий, то на тот же процент, что уменьшили с помощью модификатора водотвердое соотношение, уменьшается и влажность конечного продукта (по крайней мере в пределах первых 5%).

В заключение обратим ваше внимание на следующее. Де-факто уже не менее 30% всех российских производителей газобетона автоклавного твердения осознанно, хотя и опосредовано, используют возможность оказать на бетонную смесь воздействие, которое на тяжелом бетоне получают посредством применения пластификатора. Данное утверждение основывается на том, что многие из технологов, которые используют в производственном процессе ряд наименований алюминиевых паст от производителей «Schlenk Metallic Pigments» (Германия), ООО «Бенда-Лютц Волжский» (г. Волжский, Волгоградская обл.), ООО «НСК-ТЕК» (г. Екатеринбург) и ООО «СУАЛ-ПМ» (г. Шелехов, Иркутская обл.) констатируют, что дополняющая химическая составляющая данных газообразователей оказывает на бетонную смесь заметное пластифицирующее воздействие.

Таким образом, в ближайшие годы на производствах газобетона автоклавного твердения за счет использования алюминиевых паст – по принципу два в одном – от вышеназванных производителей и за счет применения модификатора от ООО ТК «Савитар» должны быть полностью адаптированы технологические приемы применения пластификатора, отработанные на тяжелых бетонах. Вследствие этого, как не раз отмечалось в данной статье, весьма возможно появление и новых технологических возможностей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамзон, А.А. Поверхностно-активные вещества: свойства и применение. – Ленинград, «Химия», 1981.
2. Баженов, Ю. М. Технология бетона. – М.: «Высшая школа», 1987.
3. Невиль, А.М. Свойства бетона (сокр. перевод с англ.). – М.: Издательство литературы по строительству, 1972.
4. Бетоны. Материалы, технологии, оборудование: [справочник] / Под ред. А.Д. Жукова. – Москва, Ростов-на-Дону: Стройинформ, Феникс, 2008.



## МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛИНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА: ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ИНСТРУМЕНТЫ



**Сергей Лорай,**  
 руководитель  
 службы сервиса,  
 Wehrhahn



**Галина Романова,**  
 координатор  
 проектов,  
 Wehrhahn



**Уве Шляй,**  
 главный технолог,  
 Wehrhahn

Основная цель модернизации – это повышение эффективности производства и, соответственно, прибыльности и конкурентоспособности предприятия. Для ее достижения необходимо решить целый комплекс задач. Назовем основные:

- снижение производственных затрат;
- увеличение производительности линии;
- повышение качества продукции, улучшение ее потребительских свойств;
- расширение ассортимента выпускаемой продукции и др.

Каждая из обозначенных выше задач требует решения целого ряда подзадач. Так, *производственные затраты* могут быть оптимизированы путем:

- снижения расходов на сырье;
- снижения энергоемкости производственного процесса;
- сокращения брака;
- сокращения численности обслуживающего персонала путем повышения уровня автоматизации производства;
- оптимизации расходов на техобслуживание оборудования.

Wehrhahn имеет большой опыт в решении всех поставленных выше задач: комплексно, индивидуально, с учетом специфики Вашего производства, потребностей Вашего рынка, Ваших инвестиционных возможностей.

Так, в апреле 2018 года завершилась полная реконструкция газобетонного завода компании «Н+Н УК». Проект реализован в рекордно короткие сроки. Работы по замене оборудования – с момента остановки старой линии до выпуска первого массива на новом оборудовании – длились меньше трех месяцев. При этом были заменены все производственные участки, кроме БСУ и автоклавного отделения. В результате совместной работы над

*Нужно ли инвестировать в модернизацию?  
 А в сложные кризисные времена?  
 А при высокой конкуренции и низких ценах на продукцию?*

*Да, нужно. Чтобы выжить на рынке. Чтобы работать эффективно и в то время, когда конкуренты еле-еле сводят концы с концами.*

проектом разработана новая концепция линии Wehrhahn superSMART: усовершенствованы технология и оборудование, разработана новая система установки машин без глубоких дорогостоящих фундаментов и т.д. В результате модернизации увеличивается производительность линии, улучшается качество продукции, сокращаются численность персонала и затраты на техобслуживание оборудования.

Рассмотрим более подробно некоторые инструменты для повышения эффективности газобетонного производства, предлагаемые компанией Wehrhahn.

### **1. Внедрение безотходной технологии производства: снижение производственных затрат, увеличение производительности линии, повышение качества продукции**

Внедрение безотходной технологии производства позволяет решить сразу несколько задач на пути повышения рентабельности производства, в т.ч. существенно снизить производственные затраты, что особенно актуально в условиях кризиса.

#### **1.1. Снижение расходов на сырье**

Обычно снижение затрат на сырье достигается путем подбора более дешевых компонентов, часто в ущерб качеству производственного процесса и конечной продукции.

Наиболее действенный инструмент снижения расходов на сырье – это переход на безотходную технологию производства с использованием установки удаления нижнего подрезного слоя Wehrhahn (рис. 1). Практически все газобетонные линии Wehrhahn как в Германии, так и в других странах (около 100 линий), работают по безотходной технологии: все обрезки, включая нижний подрезной слой, возвращаются в производственный процесс в виде химически активного обратного шлама.



Рис. 1. Установка удаления нижнего подрезного слоя Wehrhahn

При размере массива 6000x625(x 1200/1500) мм и толщине нижнего подрезного слоя 60 мм объем нижнего подрезного слоя составляет 0,225 м<sup>3</sup>. Таким образом, на линиях, осуществляющих резку массива в вертикальном положении и при этом не оснащенных установкой удаления нижнего подрезного слоя, **в каждом массиве планомерно производятся 0,225 м<sup>3</sup> твердых отходов – это около 5% объема массива** (при высоте массива 1200 мм и полезном объеме 4,5 м<sup>3</sup>). **Wehrhahn предлагает перейти от производства отходов к выпуску высококачественной продукции!**

**Использование нижнего подрезного слоя в виде обратного шлама в производстве позволяет экономить около 5% (в зависимости от объема массива и толщины нижнего подрезного слоя) всех (кроме алюминия) твердых сырьевых компонентов, в том числе и дорогостоящих вяжущих: извести и цемента.**

Таким образом, возврат нижнего подрезного слоя в производственный процесс позволяет при заливке каждых 100 массивов экономить сырье, достаточное для производства 5 массивов, то есть 5% высококачественной продукции производятся из сэкономленного сырья (+ алюминий)!

#### **1.2. Уменьшение количества твердых отходов**

Установка удаления нижнего подрезного слоя Wehrhahn позволяет полностью исключить образование брака из-за повреждения блоков нижнего ряда при отделении нижнего подрезного слоя после автоклавирования.

Как показывает опыт, при отделении нижнего подрезного слоя после автоклавирования ломаются 1–3 блока нижнего ряда. Даже при производстве 200 000 м<sup>3</sup> газобетона в год потери при отбраковке всего одного блока размером 625x250x300 мм составляют 0,05 м<sup>3</sup>x44 444 массивов/год ≈ 2 222 м<sup>3</sup>/год. Исключив эти повреждения путем использования установки Wehrhahn для удаления нижнего подрезного слоя, Вы получите дополнительно 2 222 м<sup>3</sup>/год высококачественной продукции. При рыночной стоимости, например, 50 евро за 1 м<sup>3</sup>, дополнительная выручка составит 111 100 евро в год!

#### **1.3. Снижение энергоемкости производства**

Благодаря тому, что объем газобетонных массивов, подвергаемых автоклавированию, снижается примерно на 5%, расход энергии на один автоклавный цикл снижается примерно на 3–4%. Эта тепловая энергия высвобождается

ется для выпуска высококачественной продукции (экономия 5% энергии не достигается, так как затраты энергии на разогрев автоклавов, автоклавных вагонеток и поддонов остаются теми же).

Сберегаются также ресурсы, которые тратятся на утилизацию технологически обусловленных твердых отходов производства: денежные средства, рабочее время, производственные площади.

#### 1.4. Дополнительные технологические преимущества

Использование обратного шлама в рецептуре (оптимально 17–20% по массе от сухих компонентов смеси) положительно влияет на качество газобетонной смеси, свойства газобетонного массива и качество готовой продукции. Так, существенным преимуществом является повышение седиментационной устойчивости газобетонного шлама, что обеспечивает одинаковую плотность блоков в верхней и нижней части массива. Это преимущество особенно важно при производстве блоков меньшей плотности. Значительно улучшаются прочностные характеристики готовой продукции (прочность на сжатие).

При кантовании массива на установке удаления нижнего подрезного слоя ослабляются швы реза, что уменьшает склеивание блоков. В результате облегчается работа разделительной машины, сокращаются возможные повреждения.

#### 2. Модернизация газобетонных линий путем внедрения установок Wehrhahn деления «зеленого» массива и чистки автоклавных решеток / поддонов

В настоящее время набирает силу тенденция снижения удельной плотности газобетонной продукции. Это позволяет производителю экономить сырье, расширять ассортимент выпускаемой продукции, а потребитель обеспечивается продукцией с повышенными тер-

моизоляционными качествами, вплоть до термоизоляционных панелей из газобетона плотностью не более 150 кг/м<sup>3</sup>.

**Установка деления сырого массива** (рис. 2) обеспечивает особенно большие преимущества при производстве тонких блоков, а также блоков пониженной плотности, когда тенденция к склеиванию увеличивается и дальнейшая оптимизация рецептуры не дает желаемых результатов или ведет к существенному увеличению расходов на дорогостоящее сырье.

Установка деления «зеленого» массива рекомендуется для модернизации газобетонных линий, на которых резка массива осуществляется в вертикальном положении, а его автоклавирование – в горизонтальном. После резки в вертикальном положении массив кантуется на 90° в горизонтальное положение и перемещается на установку деления «зеленого» массива. Здесь массив разделяется по свежим срезам и помещается на автоклавную решетку и затем в автоклав.

Внедрение установки деления «зеленого» массива позволяет предотвратить склеивание блоков во время автоклавирования и соответственно исключить возникновение некондиции по причине склеивания блоков. Кроме того, отделенные друг от друга блоки лучше пропариваются в автоклаве, соответственно улучшаются их прочностные характеристики. Это особенно важно при производстве блоков пониженной плотности с повышенными теплоизоляционными свойствами, которые все больше востребованы на рынке.

Установка чистки автоклавных решеток Wehrhahn (рис. 3) удаляет напекания газобетонной массы, которые возникают в процессе автоклавирования на автоклавных решетках. Вращающиеся металлические щетки, закрепленные в корпусе, обеспечивают эффективную чистку решеток. Корпус уплотнен таким образом, что пылевидные отходы не попадают в окружающую среду, а сразу удаляются с помощью системы пылеудаления.

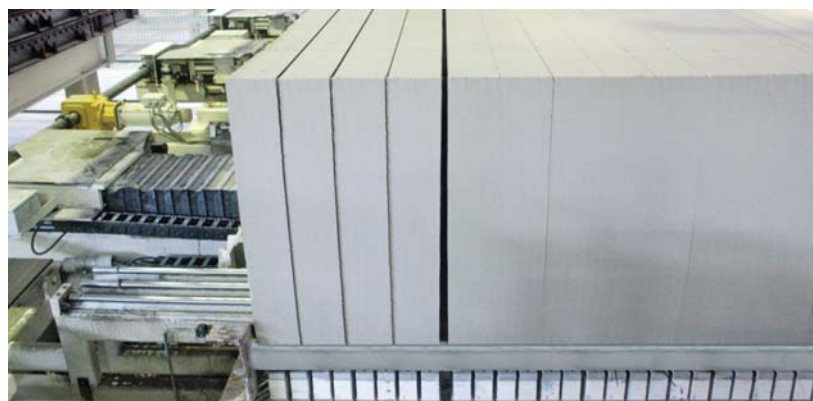


Рис. 2. Установка Wehrhahn деления «зеленого» массива (до автоклавирования)



Рис. 3. Установка  
чистки  
автоклавных  
решеток

Рекомендуется чистка решеток после каждого автоклавного цикла. Однако даже сильно загрязненные решетки могут быть очищены с помощью установки чистки автоклавных решеток Wehrhahn.

Особенно при производстве блоков малой плотности важно обеспечить гладкую и чистую поверхность автоклавных решеток, чтобы избежать отпечатков и повреждений массивов.

### 3. Модернизация с целью повышения уровня автоматизации на примере участка упаковки

При современном уровне развития технологий производства автоклавного газобетона возможна полная автоматизация всех производственных участков. Это позволяет сократить численность обслуживающего персонала на производстве, повысить производительность линии и качество продукции.

Наименее автоматизированным на многих предприятиях остается все еще участок сортировки, палетирования и упаковки готовой продукции. Эти работы выполняются часто с использованием большого количества ручного труда. Отсутствует возможность автоматического разбора массива, состоящего из блоков разной толщины, и упаковки блоков по размерам.

Сортировочно-упаковочное оборудование Wehrhahn позволяет полностью автоматически

- сортировать и разбирать блоки разной толщины, произведенные в одном массиве, и формировать пакеты из блоков одного размера;
- укладывать блоки на транспортные поддоны в положении, удобном для кладки на строительной площадке;

- формировать пакеты разной высоты по желанию покупателя, используя при этом поддоны заданного покупателем размера;
- подавать поддоны, разбирать штабели поддонов;

■ наносить маркировку продукции на пакеты и др.  
Газобетонные линии всех типов и любых производителей могут быть оснащены сортировочно-упаковочным оборудованием Wehrhahn. Например, в результате оснащения линии «Универсал» Липецкого силикатного завода достигнуты следующие преимущества:

- сократилась численность персонала;
- уменьшилось время такта;
- продукт защищен от воздействия неблагоприятных погодных условий;
- на пакете размещается реклама производителя.

### 4. Модернизация устаревших газобетонных линий

В настоящее время на постсоветском пространстве все еще имеется большое количество газобетонных линий, оснащенных устаревшим оборудованием и технологиями. Эти линии неспособны удовлетворять требованиям времени по эффективности производства, качеству продукции и поэтому значительно уступают по конкурентоспособности предприятиям, работающим на современном оборудовании. Кроме того, линии типа Hebel и Ytong уже не производятся поставщиками оборудования, поэтому неизбежны сложности с запасными частями и поддержанием оборудования в рабочем состоянии.

Wehrhahn имеет богатый опыт обновления устаревших производственных линий путем замены единиц оборудования или целых производственных участков.

#### 4.1. Модернизация устаревших газобетонных линий путем переоснащения участка резки

На линиях **Универсал** и **Hebel** (частично) массивы перемещаются с помощью крана, что не обеспечивает точного и быстрого позиционирования массивов, требует ручного труда, делает невозможным автоматизацию производственного процесса. При производстве газобетона пониженной плотности захват массива грейфером крана часто приводит к повреждению массива. Резка массива осуществляется в горизонтальном положении, для чего требуются длинные струны резки, которые не обеспечивают необходимой точности резки и требуемой на рынке идеальной геометрии газобетонных блоков. Обрезки удаляются из машины резки вручную, для чего необходима дополнительная рабочая сила. Нижний подрезной слой не удаляется. Производство блоков с пазогребневой системой и захватными карманами невозможно.

Для модернизации линий **Hebel** и **Универсал** наилучшим образом подходит компактная линия резки **Wehrhahn SMART**. Так, недавно разработан проект модернизации линии типа **Универсал**. Данный проект предусматривает замену старой линии резки на линию резки **Wehrhahn SMART**, а также кранов автоматическими погрузчиками **Wehrhahn**.

Для модернизации участка резки на линиях **Ytong** оптимальным образом подходит линия **Wehrhahn PLUS**. При этом настоятельно рекомендуется дооснастить линию установкой удаления нижнего подрезного слоя (см. пункт 1).

#### 4.2. Модернизация смесительного отделения

Именно на участке дозирования и смешивания в значительной степени определяется качество готового продукта. Для комплексной модернизации смесительного отделения наилучшим образом подходит система **Wehrhahn Wecomix** – саморегулирующаяся система взвешивания и подготовки газобетонной смеси.

На многих старых линиях, например, типа **Ytong**, необходима также замена оборудования для подготовки и дозирования алюминиевого шлама. Система **Wehrhahn** дозирования алюминия универсальна и позволяет использовать как дорогостоящую алюминиевую пасту, так и более дешевую пудру. В бак дозируется вода, запускается мешалка и затем загружается алюминий: паста или пудра. Через 30 минут интенсивного перемешивания суспензия готова к дозированию в главный

смеситель. Готовая суспензия постоянно циркулирует из бака по кольцевому трубопроводу.

Смеситель алюминия **Wehrhahn** успешно внедрен, например, на линии **Ytong** в Самаре.

#### 5. Повышение общей эффективности производства на линиях **Wehrhahn**

На газобетонных заводах в Германии особое внимание уделяется повышению общей эффективности производства. Находясь в тесном контакте с производителями газобетона, **Wehrhahn** разрабатывает и постоянно совершенствует инструменты по повышению эффективности производства, которые затем проходят испытания на действующих линиях **Wehrhahn** в Германии. Так, разработана комплексная система автоматического сбора данных и контроля всех производственных операций, а также алгоритмы анализа собранных данных.

Оснащенная автоматическими системами электроуправления современная линия накапливает огромное количество данных со всех участков производства. Например, хорошо известные производителям системы электроуправления **Wehrhahn WECOMIX** и **Wehrhahn WACO** собирают данные на участке дозирования и смешивания и на участке автоклавирувания. Эти системы могут быть расширены и интегрированы в систему **PCI (Product Control and Information System)**, позволяющую отслеживать весь цикл производства продукции, включая маркировку и отгрузку покупателю.

Система энергоменеджмента предусматривает оснащение производства электроизмерительным оборудованием для учета электропотребления основным оборудованием линии.

Анализ полученных данных позволяет:

- оптимизировать техобслуживание линии, действуя превентивно, обеспечивая бесперебойность работы линии и своевременную замену частей оборудования;
- повышать производительность оборудования, оптимизируя время такта отдельных производственных операций;
- снижать энергоемкость производства путем контроля электропотребления, снижения пиковых нагрузок и пр.

*Тщательный анализ производственных данных, собранных на одной из линий **Wehrhahn** в Германии, проведенный специалистами **Wehrhahn**, выявил возможность **ежегодной экономии средств** в размере 50 000 евро. При этом необходимо отметить, что линия является одной из самых современных и эффективных в Германии, тем не менее и на ней обнаружился значительный потенциал для дальнейшей оптимизации. В значительной сте-*



*пени эта оптимизация может быть достигнута с минимальными затратами или вовсе без затрат, например, путем небольших реорганизаций труда и производственного процесса, устранения неполадок оборудования собственными силами и т.п.*

Еще одна возможность увеличения производительности оборудования – сокращение времени такта на отдельных производственных участках путем внедрения в производство дополнительных машин.

Так, время такта на линии резки может быть сокращено путем установки двух и даже трех вагонеток участка резки. На новой линии резки завода «Н+Н УК» в Лондоне установлены три вагонетки участка резки, время такта производственной линии составляет **рекордные 2,5 мин.!**

Недавно был реализован проект дооснащения линии упаковки Wehrhahn на одном из заводов XELLA в Германии. Вторая, дополнительная машина перестановки блоков и формирования пакетов (рис. 4) переносит части массива с сортировочного стола на транспортный поддон, в то время как первая уже имевшаяся машина теперь выполняет только операцию по перемещению блоков на поворотный стол.

Установка дополнительного погрузчика на участке перед автоклавами позволяет поделить операции между двумя погрузчиками: один работает с «зелеными» массивами, уста-



Рис. 4. Перестановщик блоков Wehrhahn: линия упаковки может быть дооснащена

навливая их на автоклавные вагонетки и формируя автоклавный поезд, другой погрузчик разгружает массивы после автоклавирования, возвращает автоклавные палеты или решета в производственный процесс. Проект реализован, например, на заводе «ЭКО» (Россия). Здесь же, а также на заводе «АЭРОК» (Украина) внедрены дополнительные передаточные платформы на участках перед автоклавами и/или в зоне предварительного твердения.

### Заключение

На постсоветском пространстве все острее встает задача модернизации существующих газобетонных заводов. Даже многие современные газобетонные линии, работающие на европейском оборудовании, уже достигают 10-летнего возраста и нуждаются в тщательном апгрейде.

В условиях насыщенного рынка регулярные и систематические мероприятия по повышению эффективности производства необходимы. Они обеспечивают конкурентоспособность предприятия, его выживание в сложных рыночных условиях, повышают рентабельность бизнеса. Так, например, расширение ассортимента продукции за счет выпуска теплоизоляционных панелей Wesorog из газобетона обеспечивает доступ к новым сегментам рынка сбыта и открывает дополнительные возможности для реализации газобетона.

Wehrhahn предлагает инструменты для решения самых разных задач по модернизации газобетонных предприятий и повышению их эффективности: замена устаревшего оборудования, дооснащение линий дополнительным оборудованием, оптимизация производственного процесса на основе анализа производственных данных и другие – индивидуально, комплексно, на основе анализа потребностей предприятия и его возможностей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рудченко Д.Г. Газобетон автоклавного твердения с повышенным коэффициентом конструктивного качества. Материалы диссертации.
2. Клаус Бонеманн, Романова Г.В., Цельмер В.Н. Расширение ассортимента газобетонной продукции путем выпуска теплоизоляционных панелей: потребности рынка и особенности производства на оборудовании Wehrhahn // Сборник докладов научно-практической конференции «Современный автоклавный газобетон». – Санкт-Петербург, 2017. – С. 27-33. // Технологии бетонов. – № 5–6, 2018. – С. 16–20.
3. Поттин Ф., Хельбер К., Романова Г.В., Цельмер В.Н. Возможные стратегии при производстве АГБ в условиях экономического спада // Сборник докладов научно-практической конференции «Современный автоклавный газобетон». – Санкт-Петербург, 2015. – С. 38–43.

# ГАЗООБРАЗОВАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА БЕНДА-ЛЮТЦ: СИЛА ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ, ПЕРЕДОВЫХ ДОБАВОК И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАДРОВ



**Павел Вольский,**  
директор по продажам  
Бенда-Лютц Скавина  
Сп. с о.о.  
(Польша)

Компания Бенда-Лютц существует на рынке почти 110 лет, она была основана в Австрии в 1910. В 1991 г. появилась фирма Бенда-Лютц Скавина в Польше, а в 2008 г. – Бенда-Лютц Волжский в России. Оба эти предприятия сосредоточены исключительно на производстве алюминиевой пудры и пасты, предназначенных для производства автоклавированного газобетона. Вся группа Бенда-Лютц является частью международного концерна Сан Кемикал (Sun Chemical), занимающегося производством разного вида пигментов.



## Технология производства

В Бенда-Лютц в Польше и России основным сырьем для производства является первичный алюминий в виде чушек или Т-образных слитков, а также в виде распыленного алюминия чистотой минимум 99,7%.

Алюминий расплавляют в газовой печи, а затем распыляют в струе сжатого воздуха. Частицы расплавленного алюминия охлаждаются в специальной камере, после чего их просеивают на нужные фракции.

Таким образом получают порошкообразный алюминий, который является сырьем для производства пудры в виде хлопьев. Распыленный алюминий размалывают в шаровой мельнице до достижения требуемых параметров, сепарируют и подвергают стабилизации и гомогенизации в оксидизаторе.

Специальное оборудование на размольных установках компании Бенда-Лютц Скавина позволяет в автоматическом режиме с высокой степенью точности осуществлять контроль за размером алюминиевых частиц, поступающих на выгрузку из мельницы. Мы можем производить алюминиевую пудру с требуемым размером частиц и узким распределением в заданном диапазоне. Полученные в нашем процессе алюминиевые порошки характеризуются большей активностью по сравнению с пудрой с такой же величиной зерна, производимой по другой технологии.

В таком виде она может продаваться или служить в качестве сырья для производства алюминиевой пасты.

### Влияние добавок пасты на время схватывания цемента



Алюминиевые пасты технологически являются более прогрессивным газообразователем. Они гидрофильны, не пылят в процессе переработки и, по сравнению с алюминиевыми пудрами, значительно безопаснее при транспортировке и использовании.

Во время производства пасты алюминиевую пудру в миксере смешивают с диэтиленгликолем (ДЭГ) и другими специальными добавками для получения однородной партии с заданными свойствами.

Готовая паста упаковывается в мешки из антистатического полиэтилена и затаривается в стальные барабаны, картонные или пластмассовые контейнеры.

#### Инвестиции в исследования и развитие (R&D) в Бенда-Лютц

Нашей силой являются продукты, содержащие минимальное количество добавок. Однако, отвечая на потребности некоторых клиентов, мы инвестируем в научный персонал и оборудование, что позволяет проводить исследования и анализы с различного типа добавками. Так, в 2014 году мы запустили лабораторный смеситель пасты, благодаря которому можем проводить полупромышленные испытания. Следующим шагом стало создание в конце 2015 года лаборатории ячеистого бетона, где исследуется динамика роста тестовой смеси газобетона. В этой лаборатории прослеживаются изменения в процессе роста

смеси ячеистого бетона в зависимости от примененных для производства добавок паст и порошков, а также свойств сырьевых добавок, таких как дробленый материал, цемент и известь.

В результате недавних работ R&D мы ввели порошки и пасты, вступающие в реакцию с опозданием, а также исследовали влияние добавок на такие производственные параметры автоклавного ячеистого бетона, как время для нарезки или коэффициент В/Т. Работаем также над добавками, которые, надеемся, позволят корректировать прочность или теплопроводность готового АЯБ.

Среди протестированных в нашей лаборатории R&D изделий некоторые уже опробованы в промышленных условиях с положительным результатом и запущены в производство.



## СМОРГОНЬСИЛИКАТОБЕТОН: ПОСТРОИМ БУДУЩЕЕ ВМЕСТЕ

**Аллахвердиева Е.Г.**,  
 главный технолог  
 Филиала № 7  
 «Сморгоньсиликатобетон»  
 ОАО «Красносельск-  
 стройматериалы»

Наше предприятие более 55 лет выпускает строительную продукцию широкого ассортимента и европейского качества и является одним из крупнейших производителей стройматериалов в Республике Беларусь.

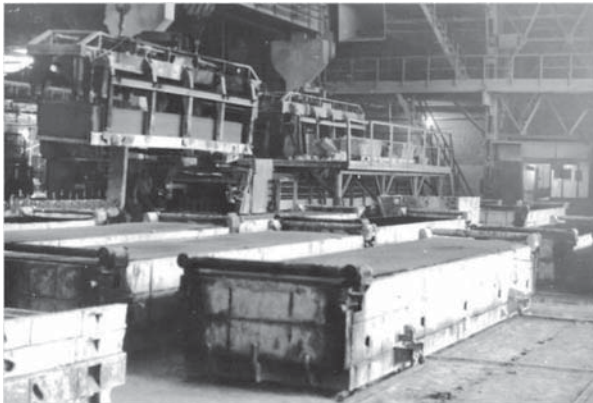
Из них в разные годы построены жилые кварталы, коттеджные поселки, административные и культурно-развлекательные комплексы в таких городах, как Варшава, Москва, Санкт-Петербург, Мурманск, Калининград, Киев, Львов, Вильнюс, Каунас, Даугавпилс, Рига и др. В нашей столице – городе-герое Минске – Национальная библиотека, железнодорожный вокзал, спортивный комплекс «Арена», гостиница «Виктория», бизнес-центр «XXI век», спальный район по проспекту Победителей и многие другие значимые объекты.

Сертификаты соответствия Республики Беларусь, Российской Федерации, Украины и Евросоюза подтверждают высокое качество производимой продукции.



...В **1955 году** трест «Ленгеолнеруд» организовал экспедицию, которая выявила богатейшее Сморгонское месторождение нерудных материалов. На его базе запроектировано строительство песчано-гравийного завода «Сморгонь», в дальнейшем переименованного в гидромеханизированный завод «Сморгонь» с проектной мощностью 900 тыс. м<sup>3</sup> нерудных материалов в год. В 1965 году утверждено проектное задание на строительство Сморгонского комбината силикатных изделий. Первая очередь строящегося комбината – цех силикатного кирпича мощностью 60 млн штук со вспомогательными службами – принята в эксплуатацию в 1968-м, а в 1970-м – 2-я очередь по выпуску 75 тыс. м<sup>3</sup> мелких стеновых блоков и 125 тыс. м<sup>3</sup> армированных панелей из ячеистого бетона.

**1 апреля 1976 года** организовано ПО «Сморгоньсиликатобетон», в состав которого вошли комбинат силикатобетонных изделий, дробильно-сортировочный завод и завод железобетонных изделий.



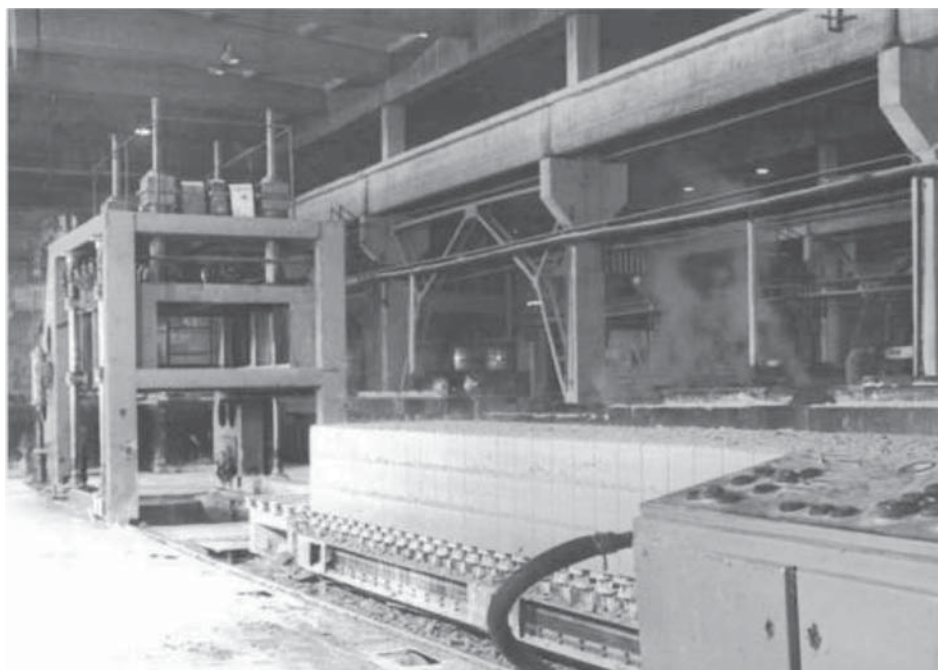
**В 1976 году** освоен выпуск панелей из ячеистого бетона для промышленного строительства и для строительства общественных зданий, в 1978 году мелким блокам присвоен «Знак качества». В конце 1979 года начато освоение резательной технологии с применением оснастки и резательных машин конструкции «НИПИ Силикатобетон».

**В 1983 году** произведен монтаж комплекта резательного оборудования мелких блоков. На всех технологических линиях внедрена ударная установка для изготовления изделий из ячеистого бетона, разработанная «НИПИ Силикатобетон», не имеющая аналогов в мире.

**В 1990–1991 гг.** в цехе крупнопанельных изделий смонтированы и освоены линии типа «Силбетблок» по формовке и резке ячеистобетонных массивов размером 3,14x2,45x0,9 м, плотностью 500 кг/м<sup>3</sup> и марки по морозостойкости 25–35 с последующей возможностью пакетирования данного массива. «НИПИ Силикатобетон» совместно со специалистами объединения разработаны новая компоновка линии и проектная документация на фундаменты, схема и система подачи массива на посты резки, произведен монтаж и пусконаладочные работы.

**В июне 2004 года** в ОАО «Сморгоньсиликатобетон» началась реконструкция существующего производства изделий из ячеистого бетона, и уже 3 мая 2005-го состоялся пуск новой линии по выпуску современных изделий из ячеистого бетона на оборудовании немецкой фирмы «Masa-Henke Maschinenfabrik GmbH».

Именно это событие можно назвать прорывом – появился фактически новый завод, способный производить изделия из ячеистого бетона на уровне мировых стандартов! Годовая мощность линии – 290 тыс. м<sup>3</sup> блоков из ячеистого бетона. Новая линия вобрала в себя как новейшие зарубежные технологии (резка массива-сырца с предварительным кантованием на 90 градусов), так и лучшие достижения отечественных технологий (формование ячеистобетонной смеси по ударной технологии). В результате слияния передовых технологий существенно снижена влажность блоков, повышена их прочность и морозостойкость, уменьшен расход тепловой энергии и суммарный расход вяжущих материалов. Рациональное





использование отечественной технологии и высокотехнологичного полностью автоматизированного оборудования значительно снизило трудоемкость технологических операций. Значительно расширилась номенклатура типоразмеров блоков из ячеистого бетона. При этом минимальные отклонения этих изделий по геометрическим параметрам дали возможность строителям использовать продукцию для кладки на клею, снижая потери тепла.

**В декабре 2005 года** Бюро Веритас сертифицировало систему менеджмента качества в соответствии с ISO 9001:2000. Наличие сертификата на систему менеджмента – важный критерий повышения имиджа предприятия, свидетельство качества и надежности его продукции. Действующая система управления окружающей средой в соответствии с СТБ ISO 14001-2005 систематизирует возможные источники загрязнения и способствует улучшению регулярного экологического контроля атмосферного воздуха, сточных вод, рационального обращения с отходами. На предприятии разработана и в 2009 году внедрена система управления охраной труда в соответствии с требованиями международного стандарта OHSAS 18001.

**В декабре 2006 года** получены сертификаты соответствия Европейским гармонизированным стандартам, действующим в странах Европейского союза на блоки из ячеистого бетона и кирпич силикатный, и право маркировать продукцию знаком CE.

**12 ноября 2008 года** торжественно открыт первый запуск гидравлического пресса по производству силикатного кирпича фирмы «Mitznichi Fukaj Jron Vorhs» (Япония). В конце 2011-го начато производство блоков фундаментных (ФБС).

**В 2013-м** начался новый виток истории предприятия. Оно реорганизовано в филиал № 7 «Сморгоньсиликатобетон» ОАО «Красносельскстройматериалы» под руководством директора Елены Яновны Ермак.

...День за днем, из года в год мы делаем все для повышения качества нашей продукции. Внедрение инноваций, модернизация производства, повышение уровня профессионализма – все это приносит свои плоды. За это время филиал № 7 «Сморгоньсиликатобетон» не только снискал доверие и лояльность потребителя, но и получил множество наград и признаний со стороны профессионалов. Предприятие удостоено Премии Правительства Республики Беларусь и Премии Гродненского исполнительного комитета. Неоднократно одержаны победы в конкурсах «Лучшие товары Республики Беларусь» и «Лучший строительный продукт года».

На предприятии разработана технология по использованию отходов производства изделий из ячеистого бетона в качестве вторичного сырья. Отходы дробятся в валковом измельчителе и подаются дозированно в мельницы мокрого помола для приготовления песчаного шлама. Это позволило улучшить экологическую обстановку на предприятии.

В 2017 году филиалом № 7 «Сморгоньсиликатобетон» освоен выпуск и получен сертификат соответствия на блоки лотковые из ячеистого бетона автоклавного твердения.

Приобретена и установлена машина Power Flex TL для упаковки блоков в пленку стретч-худ, производительностью 35 поддонов в час. Это позволило увеличить экспорт продукции в 2017 году в Украину, Латвию, Литву, Польшу.

Реконструкция производства, приобретение импортного оборудования, внедрение новых технологий способствовали повышению качества, увеличению объемов и расширению ассортимента выпускаемой продукции. На предприятии ведутся работы по совершенствованию технологических процессов и повышению эффективности производства за счет рационального использования сырья, материалов, топливно-энергетических ресурсов, что позволяет снижать цену на продукцию и делать ее доступной большему количеству потребителей.



## ЗАО «МОГИЛЕВСКИЙ КСИ» – БАЗОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ КОНФЕРЕНЦИИ

ЗАО «Могилевский КСИ» – один из крупнейших производителей изделий из автоклавного ячеистого бетона и силикатного кирпича в регионе стран СНГ и Балтии. Высококвалифицированные специалисты, современное оборудование, постоянное совершенствование технологий, широкое внедрение автоматизированных и компьютеризированных систем управления, 50-летний опыт работы комбината обеспечивают стабильное качество продукции.

Закрытое акционерное общество «Могилевский комбинат силикатных изделий» – предприятие промышленности строительных материалов, выпускающее широкий спектр стройматериалов:

- блоки из ячеистого бетона стеновые для кладки на клею и на растворе;
- перемычки брусковые из ячеистого бетона;
- плиты теплоизоляционные из ячеистого бетона;
- утеплитель дробленый из ячеистых бетонов;
- кирпич и камни силикатные пустотелые лицевые и рядовые;
- окрашенный лицевой силикатный кирпич;
- окрашенный силикатный кирпич с колотой поверхностью;
- плиты пенополистирольные теплоизоляционные;
- смеси бетонные и растворные;
- широкий ассортимент железобетонных изделий (кольца колодцев фальцевого типа, плиты перекрытия и плиты днищ колодцев, фундаментные блоки, железобетонные перемычки);
- сухие строительные смеси (кладочные, штукатурные, шпатлевочные, облицовочные, смеси для стяжек и т.д.);
- арматурные изделия.



Комбинат расположен в северной части г. Могилева на площади 17 га, в 12 км от предприятия находится песчаный карьер площадью более 120 га. Строительство комбината начато в мае 1966 года. Генеральный подрядчик – СУ–57 треста № 12 Министерства промышленного строительства БССР. Проектная мощность комбината по выпуску кирпича силикатного – 60 млн шт. условного кирпича в год; изделий из ячеистого и плотного силикатобетона – 200 тыс. м<sup>3</sup> в год.

В августе 1968 г. введены мощности цеха силикатного кирпича, первый кирпич получен 13 августа 1968 года. В декабре 1968 г. началось производство изделий из ячеистого бетона.

На сегодняшний день комбинат является закрытым акционерным обществом. Процесс приватизации проходил в три этапа. С марта 1989 г. комбинат работал в условиях полного хозрасчета; с февраля 1994 г. комбинат преобразован в коллективное предприятие; с декабря 1999 г. – зарегистрирован как закрытое акционерное общество «Могилевский КСИ».

Численность работников – около 650 человек.

Текущая проектная мощность по ячеистому бетону – 900 тыс. м<sup>3</sup> в год, по силикатному кирпичу – 120 млн шт. условного кирпича в год.

### **Этапы совершенствования технологии производства изделий из ячеистого бетона**

Первые блоки из ячеистого бетона выпускались по опыту Рижского ЖБК–1 в формах объемом 8,8 м<sup>3</sup> с ручной резкой. В процессе производства блоков из ячеистого бетона за период с 1969 года по настоящее время пройдены следующие этапы совершенствования технологии и резательного оборудования:

- 1969–1975 гг. – ручная резка в формах объемом 8,8 м<sup>3</sup>;
- 1975–1993 гг. – механизированное разрезание массивов рамкой в формах объемом 8,8 м<sup>3</sup>;
- 1980–1989 гг. – на III технологической линии работал резательный комплекс типа «Универсал»;
- 1990–1993 гг. – замена резательного оборудования на резательный комплекс типа «Силбетблок».

Первый такой резательный комплекс был смонтирован и пущен в эксплуатацию в 1989–1990 гг. во вновь построенном пролете 7-й технологической линии. Резательный комплекс «Силбетблок» в определенной мере удовлетворял в 90-х годах прошлого столетия запросы рынка стройиндустрии в качественных и коли-

чественных показателях блоков из ячеистого бетона.

Однако в конце 90-х, начале нового тысячелетия тенденции рынка изменились в части значительного повышения требований к качеству продукции. В этот период отмечен и рост спроса на блоки из ячеистого бетона при снижении спроса на кирпич и крупноразмерные армированные изделия.

Учитывая вышеизложенные обстоятельства, руководством комбината принято кардинальное решение, обеспечивающее значительное повышение качества блоков с наращиванием объемов производства. В конце 2002 года начаты работы с немецкой фирмой «Masa–Henke» по проектированию, приобретению оборудования, монтажу новой прогрессивной технологической линии, обеспечивающей выпуск блоков, в том числе и пазогребневой формы, для кладки на тонкослойный клеевой раствор.

30 марта 2004 года был заформован и прошел полный цикл обработки в пуско-наладочном режиме первый массив блоков.

В 2010 году запущена в эксплуатацию вторая немецкая высокопроизводительная линия для производства блоков из ячеистого бетона для кладки на клеевой раствор. Линия воплотила все последние разработки немецкой компании «Masa–Henke», безусловного мирового лидера среди производителей оборудования для стройиндустрии.

Известный немецкий бренд «Masa–Henke» гарантирует высокую прочность зданий, сверхточную геометрию стен и существенную экономию при строительстве из блоков ЗАО «Могилевский КСИ».

Основными компонентами для производства блоков из ячеистого бетона являются экологически чистые, сертифицированные материалы – цемент, известь, песок, алюминиевая пудра. Технологическая схема производства выглядит следующим образом: сырьевые материалы доставляются на завод автомобильным и железнодорожным транспортом. Приготовление смеси из предварительно подготовленных сырьевых материалов осуществляется в автоматическом режиме. Компоненты в заданной пропорции подаются в смеситель, где перемешиваются по заданной программе. Готовая смесь выгружается в форму, установленную на ударном столе, и осуществляется ударное формование. В формах происходит газообразование, при этом образуется несчетное количество микроскопических пор. После того как массив поднимется, он подвергается предварительному твердению в течение 100–150 минут для достижения прочности, необходимой для резки. После этого массив извлека-





ется из формы, кантуется на 90 градусов и с помощью тонких струн и ножей с высокой точностью режется на отдельные блоки, одновременно формируются пазы и гребни, фрезеруются захватные карманы для рук. Линия резки – это сердце завода по производству блоков из ячеистого бетона. Технология резки совершенствовалась десятилетиями, и сегодня она достигла такой точности, которая еще недавно казалась невероятной.

После резки блоки из ячеистого бетона подвергаются автоклавной обработке в атмосфере насыщенного пара при давлении 12 атмосфер и температуре около 180 °С. При этом образуется уникальная кристаллическая структура, которая придает ячеистому бетону его превосходные свойства в сравнении со строительными материалами, изготовленными без автоклавной обработки. Затем готовая продукция поступает на линию упаковки: проходит через делительную машину, устанавливается на поддоны, упаковывается. Готовые упакованные поддоны транспортером подаются на склад готовой продукции.

При производстве блоков из ячеистого бетона используется техника струнной резки, что позволяет достичь высокой точности геометрических размеров изделий. Линейное отклонение размеров блока от заданных не превы-

шает  $\pm 1-1,5$  мм. Высокая точность в размерах блоков из ячеистого бетона позволяет применять при кладке клеевой раствор. Поверхность стены при этом получается ровной, что позволяет ограничиться нанесением тонкого слоя отделочного материала.

Точность размеров блоков из ячеистого бетона имеет большое значение, так как швы в кладке между блоками имеют повышенную теплопроводность по сравнению с ячеистым бетоном. Так, например, при толщине кладочных швов 1–1,5 мм влияние растворных прослоек на теплотехническую однородность стены будет минимальным, но уже при толщине швов 10–12 мм теплопроводность кладки возрастет примерно на 20–25%.

Использование струнной технологии позволяет добиться также и широкого разнообразия размеров и конфигураций ячеистобетонных блоков. Кроме того, существующая технология позволяет производить блоки с системой «паз-гребень» и специальными выемками для рук, обеспечивающими удобство при укладке блоков. При этом перестройка линии на новый размер может быть выполнена в течение нескольких минут, что дает возможность предприятию-изготовителю быстро выполнить заказ на нужный вид продукции.

В настоящее время изделия из ячеистого бетона выпускаются на 5 технологических линиях:

- технологическая линия № 1 «Силбетблок» – выпуск блоков из ячеистого бетона 3 категории, перемычек из ячеистого бетона, плит теплоизоляционных из ячеистого бетона;
- технологическая линия № 2, № 3 «Силбетблок» – выпуск блоков из ячеистого бетона 3 категории, плит теплоизоляционных из ячеистого бетона;
- технологическая линия № 6, № 7 «Masa Henke» – выпуск блоков из ячеистого бетона 1 категории.

### **Этапы совершенствования технологии производства силикатного кирпича**

Параллельно с производством блоков из ячеистого бетона выполнялись работы по повышению качества силикатного кирпича, освоивался выпуск других, новых для комбината видов продукции стройиндустрии.

В 1982 году комбинат освоил выпуск утолщенного силикатного кирпича пустотностью 12–13%.

В 1985 году пустотность кирпича повышена до 17–18%.

В 1997 году приобретен и запущен в производство гидравлический пресс БСП–500 не-

мецкой фирмы «Боймер и Боймер», который обеспечивал выпуск высококачественного силикатного кирпича и камней с пустотностью 20–24%.

В 2006 году приобретен, смонтирован и запущен в работу немецкий гидравлический пресс HDP–800 немецкой фирмы «Masa-Dorstener».

В июне 2012 года закончены работы по монтажу и запуску в работу очередного немецкого прессы фирмы «MASA». Это высокопроизводительный гидравлический пресс HDP–800N.

В 2014 году на немецком прессе фирмы «MASA» HDP-800N силами комбината начато производство окрашенного силикатного кирпича широкой цветовой гаммы.

В апреле 2016 начат выпуск окрашенного силикатного кирпича с колотой поверхностью. Благодаря фактурной колотой поверхности с помощью традиционного строительного материала можно создавать выразительные фасадные ансамбли.

Установка немецких прессов позволила увеличить выпуск лицевого силикатного кирпича и наладить выпуск камней силикатных.

В последнее время наряду с появлением новых технологий и материалов в строительстве вопрос их экологичности приобретает все большую актуальность. Экологическая чистота силикатного кирпича не вызывает сомнений, поскольку его основными компонентами является природное минеральное экологически чистое сырье: кварцевый песок, воздушная известь и вода. Удельная эффективная активность природных радионуклидов силикатного кирпича – основной показатель радиэкологии – в 5 раз ниже, чем у керамического. Однако многие люди мечтают не только об экологически чистом жилье, но и о теплом, прочном и красивом доме. Кто-то для достижения цели использует эксклюзивные проектные решения, приглашая архитекторов и дизайнеров, кто-то – передовые технологии и дорогие импортные материалы. ЗАО «Могилевский КСИ» предлагает свой способ построить дом вашей мечты, используя для этого силикатный кирпич, – материал, способный сделать уникальным даже стандартный архитектурный проект.

Обычно силикатный кирпич бело-серый, однако окрашенный силикатный кирпич ЗАО «Могилевский КСИ» отличается широкой цветовой гаммой. По заявке потребителя возможна окраска кирпича в любой из цветов. Утверждение, что силикатный кирпич – серый, невзрачный – это прошлое теперь не соответствует действительности. Благодаря отличным качественным характеристикам, широкой цветовой гамме и идеальным геометрическим параметрам, силикатный кирпич открывает неограниченные воз-



возможности в области создания как массовых, так и индивидуальных проектов. Окраска силикатного кирпича объемная, то есть окрашивается весь состав кирпича, поэтому внутри и снаружи он имеет равномерный окрас, что обеспечивает его полную «цветовую надежность». Мелкие выщербины и даже сколы, которых порой невозможно избежать при возведении стен, становятся незаметными.

Уникальность силикатного кирпича как декоративного материала заключается не только в том, что возможна его окраска практически в любой цвет, но и в создании рельефной поверхности. ЗАО «Могилевский КСИ» производит кирпич с двумя видами поверхности – гладкий и с колотой поверхностью. Использование силикатного кирпича с колотой поверхностью в отделке имитирует стену, выложенную из природного камня. Невзрачный фасад здания, умело обыгранный фактурным кирпичом, может превратиться в настоящий архитектурный шедевр. Кроме того, применение лицевого и фактурного кирпича широкой цветовой гаммы повышает качество и разнообразие облицовки дома, дает возможность получить готовый фасад, не требующий дополнительной отделки. Использование же в кладке цветных растворов позволяет оригинально сочетать архитектурный облик загородного дома с цветом кровли, окон, пейзажем, окружающими постройками.

В настоящее время силикатный кирпич выпускается на 7 прессах:

- револьверные пресса CM816 № 1–4 – двухпустотный силикатный кирпич;
- гидравлические пресса BSP500 № 5, HDP800 № 6 – 11-пустотный силикатный кирпич, камни силикатные;
- гидравлический пресс HDP800N № 7 – 11-пустотный силикатный кирпич, камни силикатные, окрашенный силикатный кирпич и камни.

### **Развитие второстепенных видов продукции**

Во второй половине 90-х годов прошлого века комбинат освоил выпуск строительных растворов, бетонных смесей, плит пенополистирольных и других видов продукции.

В 2012 году введен в эксплуатацию новый растворобетонный узел с итальянским оборудованием, что позволило значительно повысить качество отпускаемых бетонных и растворных смесей. «Сердце» растворобетонного узла – высокопроизводительные смесители от компании SIMEM, мирового лидера среди производителей оборудования для стройиндустрии. Смесители SIMEM способны вымешивать бетонные смеси с нулевой осадкой конуса, обеспечивают гомогенное перемешивание, которое реализуется менее чем за 20 секунд для влажного бетона и не более чем за 45–60 секунд для жесткого специального бетона,

обеспечивают равномерное распределение в бетоне любых химических добавок, красителей, минеральных порошков в ничтожно малых дозах, дают гарантированные показатели ГОСТов по коэффициенту вариации прочности и плотности, повышают прочностные характеристики бетонных и растворных смесей.

С 2010 года комбинатом освоен еще один вид изделий из ячеистого бетона: армированные перемычки. Комбинат производит широкий спектр перемычек из ячеистого бетона длиной до 2500 мм, шириной 100, 150, 200, 250 мм и высотой 250 мм. Перемычки изготавливаются ненесущими, с нагрузкой без учета собственного веса до 2 кН/м и несущими с полезной нагрузкой до 15 кН/м. Теплоизоляционные свойства перемычек из ячеистого бетона плотностью 700 кг/м<sup>3</sup> более чем в семь раз выше, чем у тяжелого бетона.

С 2015 года на арматурном участке комбината налажено изготовление плоских арматурных каркасов и сеток на сварочной машине ZW-10 польской фирмы WELD. Использование современной сварочной машины позволило повысить точность геометрических размеров каркасов и сеток, качество сварных соединений и в целом улучшить качество готовой продукции.

В 2013 году введен в строй цех мелкоформатных железобетонных изделий (МЖБИ). В цехе налажено производство колец стеновых цилиндрических фальцевого типа на высокотехнологичном оборудовании немецкой фирмы «BFS» по технологии вибропрессования с использованием жестких бетонных смесей. За счет этого достигается высокая плотность и однородность стенок колец, повышается прочность, морозостойкость и водонепроницаемость изделий; обеспечивается точное воспроизведение геометрических размеров. Кольца могут быть армированы металлическими сетками, которые повышают прочность изделия и предотвращают разрушение кольца при погрузочно-разгрузочных работах. Также в цехе МЖБИ производятся плиты перекрытий колодцев, плиты днищ для колец, перемычки брусковые железобетонные, фундаментные блоки стеновые (ФБС), характеризующиеся высокой прочностью, водостойкостью и морозостойкостью.

С 2014 года ЗАО «Могилевский КСИ» выпускает востребованные на рынке сухие строительные смеси: монтажные, штукатурные, клеевые, материалы для систем наружной теплоизоляции зданий, смеси для устройства напольных покрытий. Выпускаемые строительные смеси относятся к высокотехнологичным продуктам, благодаря уникальным свойствам и передовым техническим характеристикам, они выгодно отличаются от классических рас-

творов. Усовершенствованные синтетические добавки позволяют приготовить в условиях строительной площадки материалы для производства сложных технологичных работ. Кроме этого пластификаторы упрощают нанесение готового раствора, позволяют выполнять работы на проблемных основаниях, противоморозные компоненты обеспечивают жизнеспособность смеси даже при отрицательных температурах, что немаловажно для климатических особенностей Беларуси.

В 2016 году введена в эксплуатацию современная линия по производству плит пенополистирольных на оборудовании китайской фирмы «Hangzhou Fangyaung plastics machine». Новая линия увеличила производительность и значительно повысила качество готовой продукции. Благодаря современному резательному комплексу повысилась точность геометрических размеров производимой продукции. Точная корректировка технологических параметров и дозировка сырья позволили снизить процент брака и затраты на производство продукции. Основное преимущество пенополистирола (пенопласта) состоит в том, что это один из наиболее дешевых материалов, обладающий хорошими механическими и изоляционными свойствами и значительной конструкционной гибкостью. Процесс его применения прост и не требует специализированных инструментов или квалифицированной рабочей силы. Он незаменим для утепления подземных частей здания, фундаментов, стен, подвалов, цокольных этажей, где применение других видов теплоизоляции недопустимо.

Модернизация схем упаковки продукции с использованием новейших упаковочных машин немецкого и датского производства позволила повысить транспортабельность продукции и полностью исключить возможность случайного повреждения продукции при транспортировке.

В состав предприятия входят цеха основного и вспомогательного производства.

**К подразделениям основного производства комбината относятся:**

- цех газосиликатных изделий;
- цех силикатного кирпича;
- транспортно-сырьевой цех.

**К подразделениям вспомогательного производства относятся:**

- железнодорожный цех;
- цех карьер-гараж;
- паросилового цех;
- ремонтно-механический цех;
- электроцех;
- ремонтно-строительный цех.

В течение всей производственной деятельности продукция комбината пользуется устойчивым спросом на строительных рынках Республики Беларусь, Российской Федерации, Украины, стран Балтии.

Сертификаты соответствия Республики Беларусь, Российской Федерации, Украины, Евросоюза подтверждают высокое качество производимой продукции.

Продукция комбината обеспечивает строительство комфортного, экологически безопасного жилья.

На предприятии действует система менеджмента качества на соответствие требованиям СТБ ISO 9001, система управления охраной окружающей среды СТБ ISO 14001,

а также системы управления охраной труда СТБ 18001.

На комбинате постоянно выполняются работы по совершенствованию технологии, модернизации оборудования, повышению качества продукции. При решении этих вопросов комбинат сотрудничает с научно-исследовательскими, проектными, академическими институтами и университетами Республики Беларусь, а также с фирмами Западной Европы. В перспективе коллектив комбината намерен продолжать работать с исследовательскими, проектными институтами и организациями РБ, зарубежными фирмами в вопросах улучшения качества продукции, модернизации оборудования, совершенствования технологии, экономии ТЭР.

## КАЧЕСТВО БЕЛОРУССКОГО АВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

В последнее время на «порогах интернета» активно стали появляться и набирать популярность «шаблонные» статьи о качестве белорусских продуктов. Данный тренд не оставил без внимания и производителей строительных материалов. Многочисленные статьи, сравнивающие «несравнимые» показатели качества российского и белорусского газобетона, «заполнили» интернет-пространство и навязчиво пытаются убедить простого потребителя, что между ключевыми показателями качества строительных материалов, произведенных с двух сторон границы, огромнейшая пропасть.

Не будем опускаться до уровня авторов этих статей, а тем более комментировать их «колкие нападки» и «уникальные» умозаключения. Донесем до наших российских потребителей продукции информацию о разнице в стандартах на автоклавный ячеистый бетон.

Блоки из автоклавного ячеистого бетона (газобетона) нами (и другими заводами в Республике Беларусь) производятся по СТБ 1117-98 «Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия». Этот стандарт действует на территории страны, и изделия, выпускающиеся в Беларуси в рамках данного стандарта, подлежат по нему подтвер-



ждению соответствия в форме обязательной сертификации.

В России автоклавный газобетон производится по ГОСТ 31360-2007 «Изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия». Как и большинство строительных материалов, автоклавный газобетон в России не подлежит обязательной сертификации.

Ввиду экспортоориентированности нашего предприятия на российский рынок, вся наша продукция сертифицирована (на добровольных началах) в российских органах по сертификации. Мы имеем добровольный сертификат на соответствие наших блоков из ячеистого бетона требованиям ГОСТ 31360-2007.

### **Основные моменты, на которые следует обращать внимание при сравнении продукции, произведенной по разным стандартам**

#### **1. Категория изделий по точности геометрических размеров.**

Белорусский стандарт дифференцирует изделия на три категории (категория 1, 2 и 3), российский стандарт – на две категории (категория 1 и 2).

ЗАО «Могилевский КСИ» на 2-х немецких линиях выпускает только блоки первой категории по белорусскому стандарту. Сравним

требования по геометрическим параметрам к 1 категории:

Показатель	Требования СТБ 1117	Требования ГОСТ 31360
<b>Отклонения от линейных размеров</b>		
Отклонения по длине, не более	±1,5 мм	±3 мм
Отклонения по ширине, не более	±1,5 мм	±2 мм
Отклонения по высоте, не более	±1 мм	±1 мм

ЗАО «Могилевский КСИ», в числе прочего, выпускает блоки третьей категории на резательном комплексе «Силбетблок». Данный продукт по-прежнему выпускается и реализуется ввиду наличия спроса на него, в том числе и на российском рынке. Нельзя не отметить, что требования белорусского стандарта к третьей категории точности геометрических размеров значительно более жесткие, чем требования ГОСТ 31360 ко второй категории. Следует правильно интерпретировать категории продуктов: блоки 1 категории по СТБ 1117 всегда соответствуют 1 категории по ГОСТ 31360, а блоки 3 категории по СТБ 1117 всегда соответствуют 2 категории по ГОСТ 31360, но не наоборот. Не всегда изделия, принятые по ГОСТ 31360 как 1 категория, ввиду жесткости требований белорусского стандарта соответствуют 1 категории по СТБ.

**2. Второй существенный показатель, подвергающийся «нападкам» продавцов российского газобетона – морозостойкость.** Газобетон, выпускающийся по СТБ 1117, имеет марки по морозостойкости F25, F35, российский же газобетон по ГОСТ 31360 имеет марки по морозостойкости до F100. Сравнивая цифры, продавцы газобетона утверждают, что российский газобетон в разы более морозостоек, но на практике это не так. Объясним почему. До момента введения ГОСТ 31359 и ГОСТ 31360 методики определения морозостойкости на территории России и Республики Беларусь были одинаковыми.

Вкратце объясним суть испытаний по определению морозостойкости, по ранее действующему в России ГОСТу и белорусскому СТБ (тут ничего не поменялось), перед замораживанием образцы насыщают водой в течение 40 часов.

Действующий же российский ГОСТ 31359 регламентирует следующий порядок проведения испытаний: основные и контрольные образцы перед испытанием на морозостой-

кость насыщают водой температурой (18±2) °С до влажности (35±2)% по массе.

То есть насыщают теперь не полностью – до максимального водонасыщения (сколько образцы смогут впитать воды из емкости, в которую они погружены), как это было ранее и как это делается при испытаниях других материалов, – а всего лишь до 35% по массе. Так как основным разрушающим фактором является вода, увеличивающаяся при замораживании в объеме, а ее количество уменьшили в несколько раз, данный метод получился крайне щадящим и дает очень высокие показатели по морозостойкости. В реальных условиях ГОСТ 31359 «запретил воде замерзнуть» в ячеистом бетоне зимой, если влажность этого ячеистого бетона превысит 35%.

Обратимся к конкурирующим материалам, например к кирпичу и методу его испытания на морозостойкость. Морозостойкость проверяется при полном насыщении образца водой в течение 48 часов (это и сейчас, и как было ранее и с газобетоном, и другими материалами).

Неудивительно, что сейчас можно встретить высокопрочный кирпич марки 250–300 с морозостойкостью F35 и газобетонный блок с прочностью в десять раз меньше, но морозостойкостью F100, и утверждать, что газобетонный блок лучше по морозостойкости.

Так вот, осмелимся утверждать, что ввиду выпуска блоков одновременно по двум стандартам мы вынуждены проводить одни и те же испытания по разным методикам. Морозостойкость одного и того же материала, испытанного по СТБ 1117 и по ГОСТ 31359, отличается в несколько раз.

Пойдя навстречу своим российским потребителям, чтобы не возникало сложностей в правильности интерпретации свойств материала, теперь в нашем российском сертификате весь автоклавный ячеистый бетон испытан по ГОСТ 31359 и заявленные при сертификации 100 циклов успешно выдержаны.

**3. Третий показатель – теплопроводность.** Оба стандарта (и российский, и белорусский) обязывают с периодичностью раз в год контролировать теплопроводность изделий в сухом состоянии, при этом требуемые значения в зависимости от средней плотности изделий в обоих стандартах одинаковы. Продавцы российского газобетона пытаются трактовать и нормировать теплопроводность при эксплуатационной влажности, но это не требуется, приложение А ГОСТ 31359 является справочным, предназначено для проектировщиков, но не для производителей и потребителей ячеистого бетона. Очевидно, и не подлежит сомне-

нию, что при схожих значениях теплопроводности ячеистого бетона разных производителей в сухом состоянии, значения теплопроводности его при 4- и 5-процентном увлажнении, тоже будут очень близки. Фактическая теплопроводность автоклавного ячеистого бетона белорусского и российского производства отличается на величину статистической погрешности метода ее определения.

**4. Четвертый показатель, который есть в белорусском стандарте, но исключен из российского – отпускная влажность.** Требования белорусского стандарта ограничивают отпускную влажность, да, ту самую влажность, которая ограничивалась в России до введения ГОСТ 31360. А что это значит? А то, что на российских заводах с «литьевой» технологией отпускная влажность автоклавного газобетона 35–40%, а у белорусских по «ударной» технологии – 22–25%. Следовательно, белорусских блоков, при одной и той же грузоподъемности, в одну транспортную единицу можно загрузить и доставить на объект на 10–15% больше, чем российских, сэкономив на логистике. Но это не основное. Главное, что излишняя влажность, даже при длитель-

ном хранении в пакете термоусадочной полиэтиленовой пленки, не снижается и, кроме того, что эти блоки тяжелее, они значительно дольше будут сохнуть в кладке (до достижения равновесной влажности 4–5%). В ранее действовавшем «советском» ГОСТ 21520 отпускная влажность ограничивалась обосновано, так как повышенную влажность блоков необходимо учитывать и в технологии возведения стен, и их отделке: их нежелательно возводить при отрицательных температурах и не производить отделку до достижения равновесной влажности, иначе, например, после осенней отделки в неотапливаемом зимой помещении, отделочный слой весной просто отваливается. В новом ГОСТ 31359-2007 и 31360-2007 ограничения по отпускной влажности скорее всего убраны из-за лоббирования интересов производителей, которые установили у себя импортное оборудование по литьевой технологии.

В остальном и российский, и белорусский стандарты схожи и близки, они нормируют одни и те же показатели, методы их испытаний и периодичность контроля одинакова, требования к транспортированию и хранению продукции идентичны.



## **ЗАО «Могилевский комбинат силикатных изделий»**

Республика Беларусь, 212030, г. Могилев, ул. Крупской, 224  
E-mail: [sbyt\\_ksi@tut.by](mailto:sbyt_ksi@tut.by)  
[www.mgiksi.by](http://www.mgiksi.by)

### **РУКОВОДСТВО**

Директор – Пац Василий Николаевич  
+375 222 72 22 68

Главный инженер – Моисеенко Валерий Александрович  
+375 222 72 22 51

Главный технолог –  
Карпов Алексей Сергеевич  
+375 222 72 22 63

Приемная:  
+375 222 72 22 38 (факс)

Отдел маркетинга и сбыта:  
+375 222 72 22 52,  
+375 222 72 22 59,  
+375 222 72 22 39 (факс)

Фирменный магазин:  
+375 222 72 22 14

Финансовый отдел:  
+375 222 72 22 41 (факс)

Отдел материально-технического снабжения:  
+375 222 72 22 32 (факс)

# ГРОДНЕНСКИЙ ПОЛУВЕКОВОЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ. НОВЫЕ ЗАДАЧИ



**Кацынель Р.Б.,**  
 Заслуженный строитель  
 Республики Беларусь,  
 заместитель главного  
 инженера УП «Институт  
 Гродногражданпроект»

Как отмечалось ранее в многочисленных публикациях и на конференциях, в части применения ячеистого силикатобетона (газосиликата) в нашем регионе можно говорить о сложившейся исторически гродненской школе с непрерывным развитием темы и постоянным поиском новых решений, в т.ч. и градостроительных.

В 60-е годы прошлого столетия в Гродненской области Беларуси появился новый материал силикатобетон – плотный и ячеистый. Его производство было начато при поддержке ученых Ленинграда, Таллинна и поставщиков технологии из ГДР. С 1967 года гродненцы не мыслят строительства жилья и других объектов без ячеистого бетона автоклавного твердения, высокоэффективного и экологически чистого, изготовленного из местного сырья – извести и песка.

Начинали мы с типовых жилых домов и общежитий серии 1-434 С, первый из которых, так называемый «дом с зубром», построен в Гродно по ул. Горького.

Это были простейшей схемы здания с поперечными несущими стенами из наборных панелей из плотного силикатобетона средней плотностью 1900 кг/м<sup>3</sup>, толщиной 200 мм. На-

ружные стены предусматривались из газосиликатных панелей средней плотностью 700 кг/м<sup>3</sup> двухрядной разрезки толщиной 240 мм. Наружная отделка панелей выполнялась присыпкой белой мраморной крошкой на латексе, из-за чего дома были довольно однообразные. Некоторое разнообразие им придавали приставные лоджии-этажерки также из панелей плотного силикатобетона, крепящиеся к каркасу дома тягами из арматурной стали. Позже панели стали отделять в двух вариантах: кроме крошки применяли еще и мелкую керамическую плитку на клею (латексе).

Опыт показал, что и тот, и другой виды отделки наружных поверхностей панелей оказались неправильными – паронепроницаемыми. Этот недостаток, правда, компенсировался высокой гигроскопичностью и влагоотдачей материала. На основе изучения газосиликатных стен в условиях эксплуатации установлено, что благодаря высокой паропроницаемости влага в конструкции не накапливается, а газосиликат остается в любое время, даже в осеннее ненастье, с влажностью не более 6%. По инициативе гродненцев был даже снижен нормируемый коэффициент теплопроводности для газосиликата в условиях эксплуатации.

Кстати отмечено, что у газосиликатных стен толщиной 240 мм с абсолютно плоскими горизонтальными стыками (без гребня) за всю историю строительства домов в Гродно не было случая протекания швов. При этом следует учитывать, что, если панельные дома обычно монтировали опытные монтажники-профессионалы, то в газосиликатных, строившихся прежде всего на периферии, где монтажом занимались простые каменщики, герметизация швов было чисто символической, но они не промокали.



В этой первой серии с теми же конструктивными элементами были созданы три типа общежитий: 5-этажные – на 245 и 395 мест и 9-этажные – на 745 мест. Они успешно строились в разных городах и до настоящего времени обеспечивают комфорт проживания. Кроме 5-этажных домов на 60 и 80 квартир, Гродногражданпроект на их базе спроектировал дома на 40 квартир (5 этажей) и 16 квартир (4 этажа). Они нашли более широкое применение в районах области, чем исходные типовые. В сельских населенных пунктах массово применялся типовой одноквартирный дом.

В конце 70-х гг. прошлого века на смену домам серии 1-434 С пришли дома, несущие элементы которых изготовлены на новой линии по конвейерной технологии из плотного силикатобетона: внутренние стеновые панели размером на комнату толщиной 180 мм и плиты перекрытия длиной до 6 м толщиной 160 мм. Газосиликатные панели остались теми же, двойной разрезки, но толщиной 300 мм. Это стало новым шагом в совершенствовании жилищного домостроения. Наряду с 5-этажными домами появились и 9-этажные со встроенными лоджиями вместо приставных балконов. Причем они, как и в старой серии 1-434 С, имели короткие секции по две квартиры на площадке (Р-2-3), что жильцами приветствовалось.

В 70-е и 80-е годы, когда крупнопанельное домостроение было довольно однообразным, градостроителям потребовалось создать дома с более выразительной архитектурой. Архитекторов выручали конструкции силикатобетонных домов. Началось активное развитие данного типа строительства в сочетании с дру-

гими конструкциями, что явилось отличительным признаком гродненской проектной школы.

Первым опытом стали жилые 5-, 9-, а затем и 13-этажные дома с несущими стенами из кирпича и наружными из газосиликатных панелей. Это позволило уйти от жесткой прямоугольной планировочной схемы и создать интересные по форме здания, признанные лучшими для застройки городских магистралей и формирования городского силуэта (особенно это характерно для ул. Горького в Гродно).

В микрорайонах в те времена оставались незастроенными места высотных точек. И здесь выручил силикатобетон. В институте на базе изделий 88-й серии создали Г-образный 12-этажный дом. Вскоре такие же были запроектированы и построены в большинстве старых микрорайонов, что придало городу завершенный силуэт. Для села запроектирован 2-квартирный дом с квартирами в двух уровнях с применением плит покрытия из газосиликата толщиной 400 мм, которые совместили в себе две функции – конструктивную и теплозащитную. Плиты изготавливались с уклоном верхней поверхности, по которой наклеивали рулонный кровельный ковер. Получилось поистине идеальное покрытие – теплое, непромокаемое, сухое.

Интересным оказался опыт создания в 1976 г. дома-гибрида, в котором использованы железобетонные внутренние стеновые панели и панели перекрытия крупнопанельных домов, а наружные выполнены из газосиликата размером на одну и две комнаты. Панели типа «бублика» собирали на КСМ из более мелких штучных панелей на клею и тяжах,



Дома 88-й серии 1990-х годов со стенами толщиной 300 мм



Крупнопанельный дом-гибрид с наружными газосиликатными панелями

а затем в готовом виде поставляли на стройку для монтажа. Опыт удался. Дом существует в прекрасном виде более 30 лет. В настоящее время, когда на стройках остро не хватает квалифицированных рабочих кадров, данный опыт заслуживает особого внимания. Целесообразно вернуться к вопросу заводского изготовления из мелких элементов крупных панелей с готовой наружной отделкой.

Сморгоньсилакатобетон организовал производство газосиликатных панелей для строительства каркасных зданий. Они широко применялись при возведении школ, административных и других сооружений, а также для наружных стен детсадов с кирпичными несущими стенами.

После повышения требований к тепловой защите зданий было решено возводить стены толщиной 400 мм из мелких блоков со средней плотностью 400 кг/м<sup>3</sup>. Это обеспечивало  $R > 2$ . Такие стены нашли применение как в каркасных, так и в зданиях с несущими стенами из кирпича. Именно эта система массово используется строительными организациями области – Гродножилстрой, Гроднопромстрой, Гродносельстрой. Трехслойные стены с эффективным утеплителем применяются редко.

В каркасном строительстве первым опытом применения мелких ячеистобетонных блоков стало здание школы № 45 в микрорайоне «Девятовка-3». Каркас здания простоял несколько лет из-за перерыва в финансировании, панелей под новые требования еще не

выпускали, а здание надо было достроить. Поэтому применены газосиликатные блоки, которые выложены без поэтажного опирания на плиты перекрытия трехэтажного здания.

На последующих каркасных зданиях по предложению БелНИИС наружные стены из мелких блоков стали поэтажно опирать на плиты перекрытия, разрабатывая сложные устройства крепления. На строящемся комплексе психоневрологического диспансера блоки стали опирать частью постели на плиты, что оказалось более удобным и менее дорогостоящим.

Очень интересным оказался опыт строительства в микрорайоне «Девятовка» двух 12-этажных домов с внутренними конструкциями стен и перекрытий из плотного силикатобетона, а наружными стенами из мелких газосиликатных блоков массой 700 кг/м<sup>3</sup>. При этом наружные стены выполнены самонесущими с опиранием на фундаменты и связями с внутренним остовом. Деформативные свойства газосиликата оказались такими, что трещины между наружной стеной и внутренними конструкциями не проявились и в период эксплуатации.

Учитывая достаточно высокую несущую способность материала, в 90-е гг. прошлого века было решено строить здания небольшой этажности с несущими стенами из газосиликата. Так, при возведении городка в пос. Рось впервые все стены (как внутренние, так и наружные) 2-этажных зданий детсада, КБО и торгового центра выполнены несущими из мелких ячеистых блоков. Данное решение применяется для возведения четырех верхних этажей высоких домов или при строительстве жилья до четырех этажей.

Таким образом, газосиликат – высокоэффективный, легкий, малотрудоемкий уже почти полвека осуществляет триумфальное шествие по большим и малым стройплощадкам Гродненской области. Сегодня никто из строителей не мыслит своей деятельности без этого удобного, высокоэкологичного и прекрасного в эксплуатации материала.

Ведь даже «панельщики» зачислили газосиликат в палитру наиболее применяемых материалов, особенно для зданий сложной формы и большой высоты. Общественные здания, школы, детсады и др. тоже строятся, как правило, с наружными стенами из газосиликата.

Очень подкупает еще и то, что нынче, когда массово применяются герметичные окна (в старых домах их все чаще меняют на современные высокого качества), жалоб на отсыревание стен и плесень как раз меньше всего именно в домах с газосиликатными стенами.

Однако наступил новый период в строительстве зданий с новыми задачами по энергосбережению и, соответственно, повышенным сопротивлением теплопередаче ограждающих конструкций.

Характерно, что уже в 70-е–80-е годы прошлого века стены из газосиликата резко отличались по этому показателю. Если кирпичная стена толщиной в 2 кирпича имела сопротивление всего  $0,65 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , то газосиликатная с массой  $700 \text{ кг}/\text{м}^3$  и толщиной 240 мм давала  $R = 1$ , а в серии 88 с толщиной 300 мм –  $1,25$ , т.е. почти в 2 раза выше.

Но тогда при избытке тепловой энергии это в проектах особо и не ценили.

Но когда в 1998 году нормативное  $R$  было повышено до 2, а в текущем десятилетии – до 3,2, вопрос теплозащиты зданий стал номером «один».

Тяжеловесные материалы уже не входят в расчет, а трехслойные конструкции с эффективным утеплителем дороги и трудоемки.

Поэтому наиболее эффективной и всесторонне приемлемой конструкцией может быть однослойная. **И газосиликату здесь конкуренции нет!**

Надо отдать при этом должное Гродненскому КСМ. Коллектив предприятия уже давно усиленно работает над дальнейшим повышением эффективности своего излюбленного материала – газосиликата, а это значит, прежде всего снижением объемной массы до  $400\text{--}350 \text{ кг}/\text{м}^3$  и точности линейных параметров блоков для их укладки на клею вместо слоя раствора.

И успеха они добились. Сейчас прорываются на более широкий рынок, хотя пока нор-

мативы ставят барьер по снижению массы ниже 400. Однако и ныне эффект уже достигнут. Газосиликат объемной массой 400 и толщиной 400 мм массово используется на объектах.

Гродно, как известно, является пионером в строительстве энергоэффективных жилых зданий. Так, в 2010 г. построен и введен в эксплуатацию энергоэффективный 69-квартирный жилой дом первого поколения.

В нем принята разная толщина наружных стен из газосиликата с  $R$  от 2,6 до 4,74 для выравнивания теплопотерь квартир внутри дома и в торцах с плотностью  $400 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Результат прекрасный. Несмотря на изрезанность фасадов теплопотребление дома равно  $69 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ , что ниже тогдашних норм. А с учетом работы рекуператоров на приточно-вытяжных вентиляционных системах квартир по расчетам всего  $39 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ , а по факту учета только  $36 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ . В отличие от неудачного опыта в Витебске, этот дом работает прекрасно. Тепло из теплосети используется только в декабре–январе.

Очень хороший эффект достигнут также при возведении жилого дома на 40 квартир в Сморгони, где проведен опыт производства наружных панелей из газосиликата с толщиной 600 мм – по размеру общей пропарочной формы (дабы не готовить специальные формы). Оказалось, это чуть более затратно по материалу, но резко снижена трудоемкость строительства за счет отказа от кладки из мелких блоков. Результат тоже говорит сам за себя. С учетом отдельного отопления с поквартирными котелками по расчету теплопотребление равнялось  $60 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ , а по факту, согласно прибору учета, –  $52 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$  в год.



Строящееся общежитие университета

Но наиболее эффективен последний энергоэффективный 120-квартирный дом второго поколения в Гродно.

Другого такого дома в республике нет.



120-квартирный энергоэффективный дом второго поколения

Все известное в Европе оборудование по извлечению энергии из природных и нетрадиционных источников: тепловые насосы по использованию тепла стоков хозяйственного коллектора и грунта через энергетические сваи, возврат тепла удаляемого воздуха и условно чистых стоков, солнечные панели на крыше и фасаде – там применено.

Ограждающие конструкции также более совершенные. Фасад для исключения лишних углов выпрямлен. Лоджии пристроены. Стены из газосиликата с массой 350 кг/м<sup>2</sup> имеют толщину 600 мм и сопротивление теплопередаче 4,1. Значит, и в энергоэффективном строительстве материал великолепно проявил себя.

Все эти мероприятия позволили снизить теплопотребление до небывалого значения – 15,5 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год, что соответствует высшему классу А+.

Сам дом без учета работы оборудования по расчету потребляет всего 43 кВт·ч/м<sup>2</sup> энергии в год. С учетом же всего выше перечисленного оборудования обеспечивает сам себя теплом зимой до температуры – 7 °С. Для Гродно это практически весь отопительный сезон. Незначительные скачки мороза легко компенсируются тепловой инерцией дома!



Первый в Гродно  
 69-квартирный  
 энергоэффективный дом

Что особенно хочу отметить, на кадрах телевизионных съемок, проведенных специалистами Гродногражданпроекта на разных домах, «кричаще» оранжевыми выглядят картинка с температурой наружной поверхности стен кирпичных домов, панельных, особенно серии Гр-116 с вмонтированными в стены регистрами. Температура эта выше расчетной на 5–6 °С, а по Гр-116 даже есть участки с +3 °С при температуре наружного воздуха –12 и –14 °С. Хотя по расчету при нормальном состоянии перепад температур наружного воздуха и поверхности должен быть примерно равен 2 °С.

В то же время в зданиях с газосиликатными стенами картинка в основном фиолетовая с нормативным перепадом температур всего 2,5±2 °С. Примечательно, что такое наблюдалось на торцах газосиликатных домов уже в 1980 году.

В связи с этим можно утвердительно сделать выводы:

1. Газосиликат – **универсальный материал**, который может успешно выполнять различные функции от конструктивных до утепляющих.

2. Он обладает очень высокими **теплозащитными качествами**.

3. Благодаря своей «игре» с влагопоглощением и влагоотдачей он создает **уникальные параметры внутреннего климата** помещений, наиболее подходящие человеку. Это особенно важно в переходные осенне-весенние периоды до включения и после отключения отопления.

4. Материал имеет великолепные звукоизолирующие свойства.

5. На основе 50 лет наблюдений в различных экстремальных условиях можно решительно утверждать: газосиликат **имеет большую живучесть и долговечность**, не ограничиваемую теми циклами, которые неотрывны от других материалов. Наблюдаются примеры, когда блоки под открытым небом лежат десятилетиями, даже мхом поросли и не имеют никаких следов повреждений.

6. При использовании газосиликата **снижается трудоемкость** строительства, и в этом есть еще резервы.

7. **Малозэтажное строительство**, особенно на селе, практически без ячеистого бетона уже немыслимо и неэффективно.

8. Материал эффективен и обладает в отличие от дерева и различных утеплителей **капитальностью и долговечностью в эксплуатации**.

По моему глубокому убеждению, подтвержденному полувековым опытом, у ячеистого силикатного бетона недостатков и конкурентов НЕТ!

Однако с расширением области применения материала, снижением его массы, повышением энергетических требований возникли и некоторые проблемы, которые требуют обязательного научного исследования с наработкой некоторых рекомендаций.

Внедрение газосиликата 50 лет назад велось с научным сопровождением Рижского и Ленинградского научно-исследовательских институтов, что сошло на «нет» с обретением республикой самостоятельности, ликвидацией Госстроя БССР и распадом единого института строительства и архитектуры.

Министерство занято подрядными делами. Наука же осталась в стороне. Хотя задач по изучению проблемных вопросов много именно для науки, соответственно, нужно централизованное финансирование. Нельзя спихивать глобальные республиканские проблемы на фирмы и фирмочки, которые проталкивают свои материалы и интересы.

А вопрос **главный – устойчивость и долговечность стен**, о который уже спотыкаются подрядчики.

Не должно быть так, как например в Гродно, где Гроднопромстрой и Гродногражданпроект уповают только на нормативы с сомнительным результатом, а Гродножилстрой, благодаря пылливому технологу, самостоятельно экспериментирует с попытками найти надежное решение. Но результаты разные.

Проблемы с газосиликатом видны на фасадах, причем прежде всего на участках, подверженных наиболее резким атмосферным воздействиям. Именно в пределах техэтажа под парапетом сыплется наружная отделка, хотя здесь нет резких перепадов по увлажнению изнутри. Похожая ситуация на углах домов, испытывающих наиболее сильное воздействие климатических факторов: ветра, мороза и т.д. Очень часто появляется сетка волосяных трещин по плоскому полю отделки. Понятно, что в подобных случаях виной тому являются или нарушения технологии производства работ, или использование материалов с низкой паропроницаемостью.

Именно по этой причине в поисках нужного варианта всячески экспериментирует Гродножилстрой, на практике убеждаясь, что фирмы предлагают весьма разношерстные составы смесей. Как вариант, Гродножилстрой выполнил на трех высотных домах по ул. Поповича по газосиликату вентилируемые фасады с керамогранитом по каркасу. Пока все выглядит хорошо. Но дорого, а как долговечно, неизвестно.



Дома  
с вентилируемым  
фасадом

Возникают вопросы по длинным оконным проемам, где трещины в газосиликате появляются из-за разных температурных удлинений. Нужно определить пределы их геометрии.

Сами собой напрашиваются также решения по поиску и допуску на рынок для отделки газосиликата научно отработанных составов, наработке архитектурно-конструктивных решений по внешней защите углов зданий и верхних этажей, смягчающих резкие атмосферные воздействия. Ведь в домах с чердачными скатными крышами с карнизами подобных нарушений нет.

Кстати, как показала практика, нет разрушений даже непаропроницаемой отделки (ластик, плитка) на старых даже 50-летних домах с применением более плотного газосиликата с объемной массой  $700 \text{ кг/м}^3$ . Что понятно, так как и паропроницаемость основы ниже, и она сама более прочная.

С переходом на более легкий и менее плотный газосиликат картина, конечно, изменилась. Вот здесь как раз поле деятельности для научно-исследовательских институтов.

Приведу один жизненный пример. При строительстве городка в Роси в начале 90-х годов прошлого столетия мы спросили у немецких специалистов, чем лучше отделывать снаружи газосиликатные стены. Сразу они ответа не дали, но взяли в Германию несколько блоков, провели экспериментальные исследования, подобрали состав и привезли сюда готовые смеси фирмы ALSEKO.

Вот это грамотный подход.

У нас же все проблемы перекалдывают на плечи подрядчиков и производителей газосиликата.

Но им, как минимум, нужно сказать спасибо за то, что в пределах своих компетенций ста-

Высотный дом  
Гродножилстроя  
со стенами  
из блоков



раются решить важнейшую для государства проблему энергосбережения.

Поиск нужных решений – определенно государственная задача. Тем более, что требуется увязать решения архитектуры, конструирования, технологии и производства в единый комплекс с наработкой нужных типовых узлов. И это, конечно, задача Минстройархитектуры с республиканскими НИИ и подключением государственного финансирования.

Дело не терпит отлагательств, ибо не могут технологи и подрядчики ждать. Производство стоять не может.

И брак плодить дальше тоже нельзя!

# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БЛОКОВ ИЗ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА РУП «ИНСТИТУТ БЕЛГОСПРОЕКТ»



**Березовский С.Л.,**  
главный конструктор  
института  
(г. Минск, Беларусь)

В нынешнем году РУП «Институт Белгоспроект» исполнилось 85 лет. За эти годы запроектировано большое число жилых и общественных зданий, в том числе со стенами из блоков из ячеистого бетона.

Так, в Калининграде 20 лет назад запроектированы и построены четыре 5-этажных жилых дома с несущими стенами из ячеистобетонных блоков толщиной 400 мм с облицовкой лицевым керамическим кирпичом. В Минске в районе улицы Филимонова – ряд 2-этажных домов с несущими стенами из блоков и плит перекрытия из ячеистого бетона ОАО «Забудова».

В 2004 году по ул. Притыцкого в Минске, одним из первых в РБ, был запроектирован 9-этажный жилой дом в монолитном рамно-связевом железобетонном каркасе с поэтажно установленными газосиликатными стенами толщиной 400 мм. В нем ваннные комнаты примыкают к наружным стенам и имеют естественное освещение. Если сегодня посмотреть на фасад, то по вздутию штукатурки можно определить где расположены ваннные комнаты. По проектам института возведен также ряд жилых домов в сборном безригельном каркасе с плоскими плитами перекрытия толщиной как

160, так и 180 мм по типу системы «Куб» с поэтажно установленными стенами из ячеистобетонных блоков толщиной 500 мм на клею. Аналогичные дома запроектированы и построены в Мозыре и Могилеве, а также в Минске. Шаг колонн в этих домах 6x6 м.

Совместно с ГП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» был запроектирован 9-этажный экспериментальный жилой дом по ул. Тимошенко в сборно-монолитном каркасе по серии Б1.020.1-7 с поэтажно установленными 3-слойными стенами из блоков из ячеистого бетона толщиной 200 мм для наружного и внутреннего слоев и утеплителя из плит пенополистирольных толщиной 100 мм, установленного между слоями. Общая толщина стены составила 500 мм. Расчетное сопротивление теплопередаче такой стены  $R = 4,5$ .

В первых жилых зданиях, при эксплуатации их порядка 1...2 года, стали появляться трещины. Шаг колонн в местах расположения наружных стен из ячеистого бетона был в диапазоне 6...7 м. Первые перекрытия возводились толщиной 180 мм. Трещины возникали в стенах в середине пролета – в зоне плиты перекрытия. Это объяснялось тем, что прогиб плиты достигал порядка 2 см, но был в пределах допустимого прогиба, равного 1/200 пролета.

Из-за большого прогиба наблюдалось также выпучивание минераловатного утеплителя, установленного по торцам перекрытия по легкой штукатурной системе, за счет разных нагрузок и соответственно разных прогибов поэтажно расположенных перекрытий. Пришлось по низу перекрытий выполнять деформационные швы в кладке наружных стен с установкой упругого жгута и герметизацией мастикой. Но это положительного результата не прине-

сло, так как блоки из ячеистого бетона давали усадку, мастика стала вываливаться, а швы продуваться.

Поэтому, как выход из положения, во избежание появления трещин, при шаге колонн 6 и более метров, был разработан вариант перекрытия с монолитными балками по крайним пролетам высотой 300...400 мм. Это позволило уменьшить в какой-то степени образование трещин, связанных с прогибом перекрытий. Однако устройство монолитных балок по колоннам вызвало недовольство строительных организаций из-за сложности возведения балочных перекрытий и заказчиков – из-за увеличения трудоемкости и соответственно времени возведения перекрытий. Наиболее рациональным оказалось уменьшение шага колонн. Рациональным стал шаг колонн в наружных стенах 3...3,6 м. Это оказалось наиболее экономичным решением, в том числе в части уменьшения расхода арматуры в перекрытии, несмотря на увеличение числа колонн. Трещины в наружных стенах появлялись иногда в углах низа оконных проемов.



В 2011 году РУП «Институт БелНИИС» выпустил серию Б2.030-13.10 «Узлы и детали поэтажно опертых стен жилых и общественных зданий из эффективных мелкоштучных стеновых материалов», а также Р5.02.088.11 «Рекомендации по проектированию поэтажно опертых стен и перегородок из эффективных мелкоштучных материалов».

В серии сказано, что при предельном прогибе краевого участка плиты перекрытия меньше  $1/600$ , горизонтальный деформационный шов в наружной стене в зоне низа перекрытия допускается не устраивать. По низу оконных проемов, во избежание появления наклонных трещин по нижним углам проемов, рекомендовано устанавливать арматурные стержни с заведением в простенки.

Тем не менее газосиликат оказался непредсказуемым материалом, а трещины стали появляться вновь, причем в разных местах по высоте здания, но в основном на верхних этажах, включая технический, и особенно в неотапливаемых помещениях, а также на 1-х и цокольных этажах. Это объясняется большим накоплением влаги в стенах и в холодное время года при температуре наружного воздуха ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  происходит постоянное замораживание и оттаивание зоны газосиликатной стены, расположенной у наружной грани. Трещины в наружных стенах жилых домов возникали в кухнях и особенно в ваннных комнатах при их расположении у наружных стен, из-за избыточной влажности в этих помещениях. При этом штукатурка фасадов выполнялась тяжелыми штукатурными полимерминеральными составами типа ШС различных производителей в несколько слоев, общей толщиной порядка 15 мм и более. При такой отделке влага из стены в зимний период года выходила, но очень и очень медленно, в помещениях наблюдалась избыточная влажность.

Неприятная история получилась в женской клинической больнице № 8 по ул. Сенницкой в Минске. На холодном техническом этаже были закрыты жалюзийные решетки и отсутствовала приточная и вытяжная вентиляция. Влага стала скапливаться в стенах из ячеистого бетона и на 6-й год эксплуатации в наружных стенах появились трещины по всем швам кладки, а на 7-й год эксплуатации стала осыпаться штукатурка с кусками газосиликата. Куски достигали размера 15 см. Из швов кладки сыпалась известь в виде пыли. В результате обследования установлено, что стены технического этажа оштукатурены полимерминеральной штукатуркой толщиной 30...50 мм, и





это явилось основной причиной того, что влага не могла выйти из стены, и штукатурка стала отваливаться. Кроме того, парапеты были выполнены из газосиликатных блоков без накрывки. За время эксплуатации штукатурка потрескалась, но ремонтировать ее не стали. Атмосферные осадки ежегодно попадали внутрь кладки парапетов, она разморозилась, и штукатурка с кусками газосиликата начала откалываться и падать на гидроизоляцию кровли.



Для того, чтобы избежать появления трещин была придумана следующая система отделки фасадов: в начале выполнялась выравнивающая штукатурка средней толщиной порядка 5...10 мм, затем наносился клеевой состав с утепленной стеклосеткой с толщиной слоя порядка 5 мм и декоративный слой из тяжелого штукатурного состава ШС под «шубу» толщиной 3–5 мм. Окраска фасадов выполнялась акриловыми красками. Казалось, проблема решена и трещины уже не появятся, усилия от давления пара будет воспринимать стеклосетка. Однако вскоре обнаружилось выпучивание штукатурки, осыпание декоративного слоя и клеящего состава, выглядывание на фасаде стеклосетки. Появление трещин, осыпание штукатурки на фасадах стало наблюдаться практически во всех зданиях со стенами из ячеистобетонных блоков, особенно в жилых домах во всей республике.

Тем временем на одном из семинаров в Киеве были показаны жилые дома со стенами из ячеистобетонных блоков различной этажности – от 1–2-этажных коттеджей до многоэтажных зданий в монолитном железобетонном каркасе высотой 20 и более этажей. Отделка их фасадов выполнялась теплоизоляционной штукатуркой «Умка» (РП), причем в один слой толщиной 10 мм с одновременным

устройством декоративного слоя под мелкую «шубу», без применения стеклосетки. Поначалу уверенности в том, что дефекты не появятся, не было, однако и впредь они не обнаружались.

Оказалось, если вдуматься, то это элементарно простое и гениальное решение, подчиненное законам физики. Паровоздушная смесь в холодное время года, двигаясь из теплого помещения, легко проникает в тело ячеистобетонных блоков, а далее она теоретически должна как можно быстрее выйти через наружный отделочный слой, что и достигается применением теплоизоляционной штукатурки с коэффициентом паропроницаемости аналогичным самой стене.

Впервые в нашей стране теплоизоляционная штукатурка из Турции «Изохит» применена стройтрестом № 3 при отделке жилых 9-этажных домов в монолитном железобетонном каркасе со стенами из ячеистобетонных блоков в Солигорске. Специалисты института при визуальном обследовании двух одинаковых, рядом расположенных жилых домов со стенами из ячеистобетонных блоков, пришли к выводу, что фасады, оштукатуренные теплоизоляционной штукатуркой, гораздо лучше по качеству и дефектов не имеют. Зато на стенах соседнего дома с тяжелой штукатуркой и применением стеклосетки обнаружены трещины, вздутия и осыпания отделочного слоя, эстетически они выглядели намного хуже.

В 9-этажном доме для работников нашего института в Минске в районе Лебяжий, стены которого возведены как из блоков из ячеистого бетона, так и из керамзитобетонных блоков, впервые в республике применена теплоизоляционная штукатурка «Вармикс» (РФ). Опыта ее нанесения не было, штукатурки приобретали его по ходу дела. Но постепенно освоившись, показали высокую скорость нанесения, закончив отделку стен 4-секционного жилого дома за 2,5 месяца. Важно, что теплоизоляционная штукатурка, нанесенная на цоколь, обладает водоотталкивающими свойствами и не впитывает влагу от отмостки. Цоколь в этом доме даже после дождя всегда сухой.

В очередном проекте односекционного 16-этажного жилого дома в районе ул. Шаранговича в Минске – в сборном железобетонном безригельном каркасе типа «Куб» с плоскими плитами перекрытия толщиной 180 мм и шагом колонн 6х6 м, где заказчиком и генподрядчиком являлся ОАО «Минский ДСК», – для отделки фасадов использовалась тепло-

изоляционная штукатурка «Умка» по стенам из ячеистобетонных блоков толщиной 500 мм плотностью D500 на клею, установленным поэтажно на перекрытия. Прошло уже более 2-х лет эксплуатации, и видимых дефектов на фасаде в виде трещин, вздутий, осыпания штукатурки не обнаружено.

В соответствии с письмом Минстройархитектуры РБ от 20.03.2018 г. № 02-1-03/3826 о применении теплоизоляционных штукатурных смесей, для оштукатуривания стен из мелких блоков, в том числе из блоков из ячеистого бетона, следует применять теплоизоляционные штукатурки. Толщина слоя должна быть

не менее 10 мм. Отмечено, что использование теплоизоляционных штукатурок с повышенной паропроницаемостью позволит исключить накопление влаги в стенах, и, следовательно, появление на фасадах зданий трещин и различного типа разрушений.

На сегодняшний день в Беларуси выпуск теплоизоляционной штукатурки освоен различными производителями: «Аксамита» (ООО «ЭкспертМаркет», г. Минск); «Илмакс Термо Теплая стена» (ООО «Илмакс», г. Минск); «Спадар» (ООО «СлаВикСа», Минская обл.); «Полимикс-Термо» (ООО «ПК Радекс», г. Минск).





## Выводы

Учитывая вышеизложенное, во избежание появления трещин и размораживания стен из блоков из ячеистого бетона в процессе эксплуатации здания, а это не менее 50 лет до капитального ремонта, рекомендуется соблюдать следующее:

- влажность ячеистого бетона для начального периода эксплуатации здания должна быть не более 8%. При более высокой влажности, при отрицательных температурах происходит фазовое превращение воды в лед и увеличение коэффициента теплопроводности ячеистого бетона;
- проектирование наружных стен, установленных поэтажно на перекрытия, вести в соответствии с указаниями серии Б2.030-13.10 «Узлы и детали поэтажно опертых стен жилых и общественных зданий из эффективных мелкоштучных стеновых материалов» где сказано, что прогиб плиты перекрытия, на которой поэтажно устанавливается наружная стена из блоков из ячеистого бетона должен быть не более 1/600 пролета;
- ваннные комнаты и санузлы не рекомендуется располагать у наружных стен из-за интенсивного накопления влаги в стене из ячеистого бетона;
- запрещается выполнять парапеты, вентиляционные шахты и участки стен из ячеистобетонных блоков ниже чем 500 мм от отмостки;
- выполнять защиту кладки из ячеистобетонных блоков во время возведения от атмосферных осадков;
- кладку стен из блоков из ячеистого бетона вести качественно с полным заполнением вертикальных и горизонтальных швов, избегая попадания влаги в швы;
- при образовании трещин немедленно принять меры по их ремонту, так как вода, попадая через трещины внутрь кладки, усугубляет ее размораживание и трещины увеличиваются;
- перед нанесением штукатурки выполнять увлажнение поверхности газосиликатных стен;
- оштукатуривание фасадов следует выполнять теплоизоляционной штукатуркой для быстрого выхода влаги из стены с коэффициентом паропроницаемости не менее 0,15 мг/м·ч·Па и окрашивать силикатными или силиконовыми красками, вместо акриловых;
- теплоизоляционную штукатурку следует замешивать целым мешком строго с указанным количеством воды на упаковке и перемешивать указанное на упаковке время. Запрещается делить мешок на отдельные части при замешивании;
- не рекомендуется наносить штукатурку в жаркий день на солнечной стороне фасада;
- при нанесении штукатурки в зимний период (до  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) добавлять в воду противоморозные добавки, температуру при замешивании применять  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , поверхность газосиликатных блоков непосредственно перед нанесением смачивать теплой водой.

Выполнение этих указаний и рекомендаций позволит избежать образования трещин в наружных стенах из ячеистобетонных блоков, избавиться от ремонтов и сохранить фасады в эстетически привлекательном виде.

# СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ КЛАДКОЙ ИЗ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ БЛОКОВ



**Рыхленок Ю.А.,**  
к.т.н., руководитель  
сектора технического  
маркетинга ООО «Илмакс»  
(г. Минск, Беларусь)

Начало очередного строительного сезона ознаменовалось распоряжениями законодательных органов о необходимости изменения подхода к отделке фасадов зданий, строящихся со стенами из ячеистобетонных блоков. Связано это, безусловно, с накопившимися проблемными объектами, которые через 8...12 лет эксплуатации приходится ремонтировать, а то и вовсе заменять штукатурное покрытие, подверженное массовому дефектообразованию. Как правило, эти осложнения возникают при применении защитно-отделочных слоев с высоким сопротивлением паропроницаемости, что ведет к накоплению и конденсации влаги на границе стенового материала и отделочного слоя, а затем к разрушению контактного слоя и растрескиванию штукатурки. Все это происходило на фоне сжатых нормативных сроков ввода объектов в эксплуатацию, неритмичного финансирования, определенного дефицита строительных материалов в период резкого роста объемов массового строительства и не способствовало четкому соблюдению технологии производства работ, особенно в части нормируемой влажности основания под отделку.

В то же время некорректное толкование на уровне нормативных документов понятия «однослойная конструкция», используемое

при расчетах теплотехнических характеристик наружных стен, позволило на протяжении многих предшествующих лет проектировать наружные стены зданий с сухим и нормальным режимом эксплуатации, не принимая во внимание характеристики как внутренних, так и наружных штукатурно-отделочных покрытий. Отделочные слои по кладке предусматривали в основном лишь для придания большей декоративности поверхностям, в то время как адгезионно связанная отделка включается в многофункциональную работу наружной ограждающей конструкции в целом: воспринимает температурные, ветровые и влажностные воздействия, подвергается циклическому замораживанию-оттаиванию, включается в процесс миграции влаги через конструкцию стены.

На самом деле ячеистый бетон низких плотностей, массово используемый в современном строительстве в качестве стенового материала, является достаточно проблемным основанием для нанесения штукатурных покрытий: во-первых, он обладает высоким водопоглощением, что ведет к быстрой потере влаги из свеженанесенного раствора; во-вторых, материал деформируется при насыщении влагой и при ее потере, а также в процессе карбонизации, что при покрытии традиционными штукатурками ведет к трещинообразованию.

Для решения этих проблем примерно 30 лет назад были разработаны и широко в мире используются легкие штукатурки, изготавливаемые на минеральных вяжущих и легких наполнителях с пористой структурой, которые имеют ограниченную до 1300 кг/м<sup>3</sup> плотность. В настоящее время существует ряд производителей подобных составов и в нашей стране. Основное достоинство легких штукатурок, наносимых на кладку, возводимую из ячеистобетонных изделий, – способность прекрасно

выводить влагу из основания благодаря низкому сопротивлению паропроницанию при слоях проектной толщины до 20 мм. Легкая штукатурка в качестве наружного покрытия по малопрочной теплоизоляционной кладке хорошо согласована по прочности с основанием и имеет относительно высокую пластичность.

Преимуществом легких штукатурных покрытий также является возможность выполнять штукатурные работы по свежей кладке. Важным свойством является способность воспринимать температурные, влажностные и усадочные деформации, возникающие в подоснове из ячеистобетонных блоков, без ущерба для целостности и свойств самой штукатурки. Положительные качества легких штукатурных покрытий связаны прежде всего с низким модулем упругости и низким коэффициентом теплового расширения в совокупности с ограниченной прочностью при сжатии (см. таблицу). Известно, что использование штукатурки более прочной, чем основание, ведет, как правило, к трещинообразованию или отторжению штукатурного покрытия.

При выборе комплекта защитно-отделочного покрытия для его правильного функционирования очень важно, чтобы при наружных работах легкая штукатурка не покрывалась органическим верхним слоем (штукатуркой или краской на основе синтетических полимеров).

В ряду легких штукатурок следует различать теплоизоляционные составы, имеющие еще более низкую плотность – от 400 до 600 кг/м<sup>3</sup>. С появлением штукатурных составов низких плотностей появилась возможность с помощью строительных растворов получать дополнительную теплозащиту конструкций одновременно с нанесением штукатурного покрытия.

Эти составы хорошо подходят также для ремонта и восстановления утраченных участков кладок из легких бетонов, сколов, штраб и т.п.

Существуют две наиболее важные проблемы, непосредственно связанные с последующей долговечностью как штукатурного покрытия, так и отделываемых стен.

**Задача номер один** – вывести технологическую и приобретенную в период строительства влагу из ячеистобетонной кладки.

Наиболее уязвимыми с точки зрения переувлажнения в период строительства являются стены технических этажей и парапеты. Происходит это из-за того, что во избежание загрязнений оштукатуренных поверхностей отделочные работы проводятся сверху вниз, и верхние участки, будучи возведены в последнюю очередь, не успевают высохнуть естественным образом до их отделки.

Адгезионно связанная плотная отделка влажного стенового материала в общем случае влечет за собой влагонакопление под наружным слоем и размораживание контактного слоя между штукатуркой и кладкой, отслоение и разрушение штукатурки, усадочные деформации и прочие дефекты. Именно парапеты чаще других конструкций принято запрещать выполнять из ячеистобетонных блоков в пользу, например, керамического кирпича, забывая, что если не защищать тот же кирпич с его водопоглощением 17% по массе, то количество накопленной влаги в кирпичной кладке будет не меньше, чем в ячеистобетонной. И удаляться через плотные защитные слои она будет еще более мучительно, сопровождая этот процесс аналогичными дефектами: отторжением отделочных слоев, размораживанием наружных слоев, вплоть до разрушения.

Физико-технические свойства штукатурных материалов (справочные значения)

Таблица

Вид штукатурки	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при растяжении при изгибе, МПа	Модуль упругости, МПа	Изменение длины при водонасыщении, мм/м
Известково-цементная	1200...1300	2,5	0,3	6000	0,3
Цементная	1600...1800	7,5...1,0	0,8	7500...10 000	0,2
Теплоизоляционная	400...600	1,5...2,5	0,1	1000	–
Легкая	1000...1300	3,5...5,0	0,3	2000	–
Полимер-цементная	1700	–	10	5000	0,4
Бетон тяжелый	2200	16	1,7	15000	0,1...0,6
Кладка из блоков из бетона ячеистого	400...550	0,9...1,3	0,1	600	0,2...0,4
Полимерная	1200...1400	–	–	–	3,0

**Задача номер два** – правильно подобрать отделочные материалы. Основное требование к отделке наружных стен – не нарушить влажностный режим конструкции. Это значит, что в течение годичного периода не должно происходить влагонакопления. Кроме того, отделка не должна препятствовать удалению остаточной, а также диффузионной влаги, мигрирующей со стороны помещений при эксплуатации здания. В помещениях с влажным режимом (ванные комнаты и пр.) конструкции изнутри должны быть покрыты пароизоляционным слоем – например, обмазочным материалом на основе сухой строительной смеси, позволяющим поверху нанести любые декоративно-отделочные покрытия на основе минеральных материалов (шпатлевку с краской, плитку и т.д). Влага, которая накапливается в процессе жизнедеятельности, должна в основном удаляться за счет работы системы вентиляции. Небольшая часть влаги из помещения может удаляться благодаря свойству паропроницаемости стеновых материалов – в пределах 4% от выделяемого в помещение количества, но это не первостепенная роль стены. Влажность непросушенных блоков, поступающих с завода после автоклавирования, и приобретаемая в процессе строительства и неправильного хранения несопоставима с тем сравнительно малым количеством, которое конструкция может напитать из воздуха помещений обычным образом эксплуатируемой квартиры в период жизненного цикла!

Строительство современных зданий предполагает эффективное использование строительных материалов с целью максимального использования их теплозащитного потенциала. При этом достигается меньшая толщина наружных стен и, как следствие, меньшая нагрузка на несущие элементы каркаса здания при их поэтажном исполнении. Этим достигается не только экономия тепловой энергии на отопление зданий, но и ресурсосбережение.

Исследование остаточной влажности ячеистого бетона плотностью 500 кг/м<sup>3</sup> кладки наружных стен и наружной теплоизоляционной штукатурки «ilmax thermo теплая стена 3d», проведенное в офисном здании после двух лет эксплуатации в конце отопительного периода, показало, что массовые влажности слоев составили:

- для штукатурки толщиной 10 мм, окрашенной силикатной краской, – 1,4%;
- для ячеистого бетона в слое толщиной 50 мм, прилегающем к наружному штукатурному покрытию, – 3,9%.

Выявленные показатели влажности соответствуют условиям эксплуатации «А» по табли-



Теплоизоляционная штукатурка «ilmax thermo теплая стена 3d» (справа), нанесенная на ячеистый бетон плотностью D400, при увеличении

це А.1 ТКП 45-2.04-43-2006\* и свидетельствует об отсутствии влагонакопления в конструкции стен.

Таким образом, негативных моментов, связанных с эксплуатацией ограждающих конструкций в начальный период, выражающихся в низком сопротивлении теплопередаче, приводящем к перерасходу энергоресурсов на отопление зданий, к нарушению параметров микроклимата помещений, а также к накоплению влаги в слоях конструкционного материала наружных стен, граничащих с наружным защитно-отделочным покрытием, можно избежать, применяя правильную отделку. Кроме того, благодаря низкой теплопроводности наружная теплоизоляционная штукатурка «ilmax thermo теплая стена 3d» значительно нивелирует температурные колебания в прилегающих к наружной поверхности слоях кладки, которые, соответственно, будут испытывать меньшее количество переходов через 0 °С, чем при отделке плотным цементным или полимерцементным раствором.

Сопоставимый модуль упругости материалов штукатурки и кладки стены обеспечивает совместность их деформаций при колебаниях температуры и влажности окружающей среды, что способствует устойчивости к трещинообразованию на фасадных поверхностях

и предотвращению расшатывания структуры контактного слоя в зоне сопряжения, т.е. обеспечению долговечности и бездефектной эксплуатации наружных стен в целом.

Благодаря обеспечению паропроницаемости наружного отделочного слоя, сопоставимой с паропроницаемостью наиболее массово используемых в конструкциях наружных стен легкобетонных материалов и превышающей этот показатель для других стеновых материалов, в начальный период эксплуатации отапливаемых зданий, имеющих штукатурное покрытие из состава «ilmax thermo теплая стена 3d», происходит удаление остаточной влаги из конструкций наружных стен при одновременном обеспечении защиты от увлажнения атмосферной влагой через наружный слой. Штукатурка может наноситься в 1–2 слоя, одновременно создавая белую фактурную – «камышковую» («корник») – поверхность.

Таким образом использование легких и теплоизоляционных составов при возведении наружных стен из современных кладочных материалов позволяет оптимизировать эксплуатационные свойства возводимых конструкций, в полной мере использовать их теплозащитный потенциал, а также обеспечить бездефектную эксплуатацию, долговечность, экологическую безопасность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Росс, Х., Шталь, Ф., Штукатурка. Практическое руководство: Материалы, техника производства работ, предотвращение дефектов / Хартмут Росс, Фридеманн Шталь; Пер. с нем. Н.А. Хрусталева; Под общ ред. П.В. Зозуля – СПб.: РИА «Квинтет», 2006. – 274 с.
2. Крутилин, А.Б. К вопросу определения расчетных массовых отношений влаги в материалах и уровня теплозащиты наружных стен, выполняемых кладкой из ячеистобетонных блоков / А.Б. Крутилин // Современное производство автоклавного газобетона: Сборник докладов научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 16–18 ноября 2011 г. / Под редакцией научно-технического совета Национальной Ассоциации Производителей Автоклавного Газобетона – СПб., 2011. – с. 96–103.

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ



**Пилипенко В.М.,**  
 д.т.н., директор  
 ГП «Институт жилища –  
 НИПТИС им. Атаева С.С.»  
 (г. Минск, Беларусь)



**Данилевский Л.Н.,**  
 д.т.н., первый заместитель  
 директора ГП «Институт  
 жилища – НИПТИС  
 им. Атаева С.С.»  
 (г. Минск, Беларусь)



**Терехов С.В.,**  
 к.т.н., зав. отделом  
 ГП «Институт жилища –  
 НИПТИС им. Атаева С.С.»  
 (г. Минск, Беларусь)

## Энергоэффективное здание в Гродно

Многоквартирный энергоэффективный жилой дом второго поколения принят в эксплуатацию в г. Гродно в 2017 году. Общая его площадь 10 355 м<sup>2</sup>, в здании 120 квартир. Расчетные показатели потребления им тепловой энергии при полной заселенности, расчетной температуре 18 градусов и выхода на стационарный режим функционирования составляют:

- на отопление – 15,5 кВт·ч/м<sup>2</sup> за отопительный сезон при расчетных условиях эксплуатации;

- на горячее водоснабжение – 35 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год при условии использования системы утилизации сточных вод в здании.

В дополнение к стандартным техническим и проектным решениям зданий данной серии в энергоэффективной модификации реализованы следующие дополнения, обеспечивающие снижение расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию:

- принудительная приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепловой энергии вентиляционных выбросов;
- система утилизации тепловой энергии сточных вод;
- система тепловых насосов;
- фотоэлектрическая система для выработки энергии площадью 420 м<sup>2</sup>.

Результаты мониторинга за эксплуатацией здания в отопительном сезоне 2017–2018 гг. приведены в табл. 1. Отопление в период с 07 октября по конец декабря на 80% покрывалось работой тепловых насосов. Средняя температура воздуха в здании, с учетом расположения датчиков температуры в квартирах, составляет 21 °С.

В силу слабой заселенности здания (около 30%) потребление тепловой энергии на горячее водоснабжение составляло менее 25% затрат тепловой энергии на отопление.

Для работы теплового насоса израсходовано 65 410 кВт·ч электрической энергии, из них 10 581 кВт·ч, т. е., около 20% покрыто работой фотоэлектрической системы.

Тепловой насос выработал при этом 180,8 Гкал (240 451 кВт·ч) тепловой энергии. Соотношение тепловой энергии к затраченной электрической равно 3,3 при соотношении себестоимостей выработки электрической энергии к тепловой, равной 2,5. Это показывает выгоду использования теплового насоса по сравнению с тепловым источником традиционного типа.



Таблица 1

Результаты мониторинга за эксплуатацией энергоэффективного здания в г. Гродно в отопительном сезоне 2017–2018 гг.

2017							Потребл		COP
	отопТН	отопТС	ОтопСУМ	ГВС_ТН	ГВС_ТС	ГВС_СУМ	электрТН	фотоэл	
	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал	кВт·ч	кВт·ч	
октябрь	39,3	0		0,9	10,3	11,2	8556	8550	5,5
ноябрь	50	9,62	59,62	2,5	13,34	15,84	21021	1040	2,9
декабрь	50,7	25,8	76,5	4,4	16	20,4	20170	726	3,2
январь 2018	40,8	48,7	89,5	6,1	17,5	23,6	15663	265	3,5
Сумм	180,8	84,12	264,92	13,9	57,14	47,44	65410	10581	3,3

Таблица 2

Коэффициент удельных теплопотерь  $f$ , и удельное потребление тепловой энергии для расчетных условий  $q_0$

	$q_{\text{факт}}$ в таблице 2 кВт·ч/м <sup>2</sup>	Колич. жителей	$f$ , Вт/( м <sup>2</sup> ·К) для различных значений температуры воздуха				$q_0$ Вт/м <sup>2</sup> для различных значений температуры воздуха			
			18 °С	20 °С	22 °С	22,9 °С	18 °С	20 °С	22 °С	23 °С
октябрь	4,43	131,69	0,85	0,71	0,61	0,57	37,95	26,62	18,54	15,30
ноябрь	6,71	167,62	0,84	0,80	0,71	0,67	37,27	33,97	26,71	23,66
декабрь	8,62	208,91	0,83	0,84	0,76	0,72	36,92	37,11	30,72	27,96
январь	10,08	241,68	0,83	0,76	0,69	0,67	36,74	30,65	25,57	23,34

Результаты обработки полученной информации по методике, разработанной при выполнении проекта ПРООН [1,2], представлены в табл. 2. Обработка данных по потреблению воды в здании в расчете 70 л/чел в сутки показала наличие постоянно проживающих в здании 170 человек по сравнению с расчетным количеством около 480 человек. Средняя температура воздуха в здании по результатам мониторинга – 22 °С, что на 3 °С превышает расчетное значение температуры. В первом столбце показано удельное потребление тепловой энергии на отопление по показаниям счетчика в месяц.

Поэтому удельные показатели потребления тепловой энергии на человека в здании составляют за этот период 15,8 кВт·ч/(м<sup>2</sup> за три месяца).

В то же время пересчет показаний счетчика на расчетные условия эксплуатации (18 °С в здании, 3473 градусо-суток отопительного сезона, полная заселенность) дают расчетное удельное потребление 25,5 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год, что несколько выше проектного значения, равного 15,5 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год. Тем не менее здание можно отнести к классу А+ по показателю удельного потребления тепловой энергии на отопление.

Таким образом, предварительные данные мониторинга энергоэффективного здания в Гродно подтверждают рассчитанные при выполнении проекта данные удельного потребления тепловой энергии на отопление здания и целесообразность использования теплового насоса для его теплоснабжения.

### Предварительные результаты мониторинга энергоэффективного здания в Минске

Многоквартирный энергоэффективный жилой дом второго поколения принят в эксплуатацию в Минске в 2016 году. Общая площадь здания составляет 10 000 м<sup>2</sup>. В здании 140 квартир, площадь жилых помещений 3608 м<sup>2</sup>. Расчетные показатели потребления тепловой энергии для здания при полной заселенности, расчетной температуре в здании 18 градусов и выхода на стационарный режим функционирования составляют:

- на отопление – 23 кВт·ч/м<sup>2</sup> за отопительный сезон при расчетных условиях эксплуатации;
- на горячее водоснабжение – 35–40 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год при условии использования и системы утилизации сточных вод в здании.

В дополнение к стандартным техническим и проектным решениям зданий данной серии в

энергоэффективной модификации реализованы следующие дополнения, обеспечивающие снижение расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию:

- принудительная приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепловой энергии вентиляционных выбросов;
- система утилизации тепловой энергии сточных вод.

В табл. 3 приведены результаты мониторинга за эксплуатацией энергоэффективного здания в Минске в отопительном сезоне 2017–2018 г. Отопление было включено с 07 октября. Данные по потреблению энергии в здании получены по конец декабря 2017 г.

В силу слабой заселенности здания (до 25%) потребление тепловой энергии на горячее водоснабжение составляло около 15% затрат тепловой энергии на отопление.

В табл. 4 представлены результаты обработки полученной информации по методике, разработанной при выполнении проекта ПРООН [1,2]. Средняя температура воздуха в здании, с учетом расположения датчиков температуры в квартирах, составляет около 21 °С. Обработка данных по потреблению воды в здании в расчете 70 л/чел в сутки показала наличие постоянно проживающих в здании 105 человек по сравнению с расчетным количеством около 400 человек. Поэтому удельные

показатели потребления тепловой энергии на человека в здании составляют за этот период 18,04 кВт·ч/(м<sup>2</sup> за три месяца).

В то же время пересчет показаний счетчика на расчетные условия эксплуатации (18 °С в здании, 3740 градусо-суток отопительного сезона, полная заселенность) дают расчетное удельное потребление 23,2 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год при температуре воздуха в здании 22 °С в процессе эксплуатации, что практически совпадает с проектным значением, равным 23 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год.

*Таким образом, предварительные данные мониторинга энергоэффективного здания в Минске подтверждают рассчитанные при выполнении проекта данные удельного потребления тепловой энергии на отопление здания.*

### Предварительные результаты мониторинга энергоэффективного здания в Могилеве

Многоквартирный энергоэффективный жилой дом второго поколения принят в эксплуатацию в Могилеве в 2016 году. Общая площадь здания 13 251 м<sup>2</sup>, квартир 160, площадь жилых помещений 5691 м<sup>2</sup>. Расчетные показатели потребления тепловой энергии для здания при полной заселенности, расчетной температуре в здании 18 градусов и выхода на стационарный режим функционирования составляют:

- на отопление – 25 кВт·ч/м<sup>2</sup> за отопительный сезон при расчетных условиях эксплуатации;

Таблица 3

#### Потребление энергии в здании г. Минска

2017 месяц	расход теплоты Гкал			кол. чел.	потребленная вода м <sup>3</sup>	
	общий	на отопл.	на ГВС		холодная	горячая
октябрь	44,41	35,92	8,49	90	266,63	194,35
ноябрь	62,91	52,89	10,02	115	302,73	248,6
декабрь	76,26	66,14	10,12	110	263,8	237,7
январь	95,7	83,6	12,3	126	329,71	273,48
февраль	90,02	78,35	11,67	136,59	292,03	296,39
Среднее (сумма)	369,3	316,9	52,6	115,26	1454,9	1250,52

Таблица 4

#### Результаты расчетов энергетических характеристик здания в г. Минске

месяц	f1 Вт/м <sup>2</sup> ·град				ср. темп °С	кВт·ч / м <sup>2</sup> факт_мес	удельное потребление за год для расч. усл. кВт·ч / м <sup>2</sup>			
	Твн=18	Твн=20	Твн=22	Твн=24			Твн=18	Твн=20	Твн=22	Твн=24
октябрь	0,764	0,584	0,506	0,446	7,040	4,1	36,104	25,903	18,49	12,7
ноябрь	0,677	0,596	0,532	0,481	3,250	6,1	28,702	21,692	16,19	11,7
декабрь	0,662	0,595	0,540	0,494	0,300	7,6	27,934	22,053	17,25	13,2
январь	0,70	0,64	0,59	0,55	-2,80	9,7	31,0	25,6	21,1	17,3
февраль	0,64	0,59	0,55	0,51	-5,80	9,1	20,2	16,3	13,0	10,1
среднее	0,68	0,61	0,56	0,51	0,18	36,89	29,2	23,2	18,3	14,3

Таблица 5

Измерения и расчеты для энергоэффективного здания г. Могилева

	$Q_{sum}$	$V_{gvs}=M^3$	$Q_{gvs}$	$Q_n$	$T_{out}$	$Q_{ho},$ кВтч/ м <sup>2</sup> мес	Кол. чел	Быт. тепло- выде- ления, кВтч/ (м <sup>2</sup> мес)	$f_1$	$f_1$	$q_0$ кВтч/ м <sup>2</sup>	$q_0$ кВтч/ м <sup>2</sup>
		Объем горячей воды	Энергия нВ ГВС	Энергия на отопл					T=22°C	T=20°C	T=22°C	T=20°C
ноя.16	140,4			140,4	-1,3	11,77			0,70	0,77	37,21	43,52
дек.16	110			110	-2,59	9,22			0,52	0,55	19,89	22,56
январ.17	145,3			145,3	-6,74	12,19			0,59	0,61	26,39	28,65
февр.17	113,7			113,7	-3,99	9,54			0,51	0,55	18,79	22,86
мар.17	43,6			43,6	3,59	3,66			0,28	0,31	-3,59	-0,37
апр.17	40,8			40,8	5,36	3,42			0,29	0,32	-2,65	1,08
окт.17	111,1	536	26,8	84,2	6,35	7,06	247,00	1,77	0,76	0,87	42,61	53,24
ноя.17	139,5	574	28,7	110,8	2,2	9,29	264,52	1,89	0,78	0,87	45,13	53,57
дек.17	155,5	596	29,8	125,7	-0,16	10,54	274,65	1,96	0,76	0,83	42,64	49,84
январ.18	174,73	604	30,2	144,5	-3,3	12,12	278,34	1,99	0,75	0,81	41,79	47,95
февр.18	154,3	420	21	134	-5,9	11,24	214,29	1,38	0,67	0,73	34,47	39,45

- на горячее водоснабжение – 30 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год при условии использования солнечного коллектора и системы утилизации сточных вод в здании.

В дополнение к стандартным техническим и проектным решениям зданий данной серии в энергоэффективной модификации предполагаются следующие дополнения, обеспечивающие снижение расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию:

- принудительная приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепловой энергии вентиляционных выбросов;
- система утилизации тепловой энергии сточных вод;
- солнечный коллектор в системе подготовки горячей воды.

В настоящее время здание полностью не заселено. Система солнечных коллекторов практически не используется и не подключена к системе горячего водоснабжения здания. Предполагается включение ее в работу при повышении солнечной активности в феврале или марте 2018 года.

Система утилизации тепловой энергии сточных вод может быть подключена для подогрева холодной воды в системе горячего водоснабжения при заселенности здания на 60–70%.

По полученным из ЖКХ г. Могилева данным о потреблении тепловой энергии на отопление, представленным в табл. 5, можно сказать следующее. В отопительном сезоне 2016–2017 гг. расчетные результаты значений коэффициента удельных тепловых потерь и удельного потребления тепловой энергии на отопление неустойчивы, что объясняется ремонтными работами, проводимыми в здании.

В отопительном сезоне 2017–2018 гг. значения коэффициента удельных тепловых потерь и удельного потребления тепловой энергии на отопление более стабильны. Потребление тепловой энергии для расчетных условий составляет в среднем около 40 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год. Выход на расчетное потребление тепловой энергии ожидается при заселенности здания не менее, чем на 70% от проектной, т.е. не менее 110 квартир.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Данилевский, Л.Н., Данилевский, С.Л., Дмитриев, Г.М. Упрощенная методика определения удельного потребления тепловой энергии на отопление для расчетных условий эксплуатации зданий // Энергоэффективность. – 2017. – № 5. – с. 26–29.
2. Данилевский, Л.Н. Принципы проектирования и инженерное оборудование энергоэффективных жилых зданий. Л.Н. Данилевский // – Минск, Бизнесофсет, 2011. – 375 с.

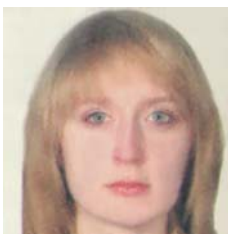
# НОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ. ЗАРУБЕЖНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ



**Данилевский Л.Н.,**  
д.т.н., зам. директора  
ГП «Институт жилища –  
НИПТИС им. Атаева С.С.»  
по научной работе



**Терехова И.А.,**  
к.т.н., вед. науч. сотр.  
ГП «Институт жилища –  
НИПТИС им. Атаева С.С.»



**Пивень О.В.,**  
науч. сотр.  
ГП «Институт жилища –  
НИПТИС им. Атаева С.С.»

Вследствие теплообмена с окружающей средой ограждающие конструкции во многом определяют затраты энергии на отопление зданий. В этой связи нормирование теплозащитных показателей стеновых ограждений традиционно используется для сокращения энергопотребления зданий. Структура, показатели и величина норм в различных странах отличаются. В свете дальнейшего развития национальных норм, информация о зарубежном опыте в определенной мере является актуальной.

## Виды нормируемых теплозащитных показателей

Практикуется несколько видов теплозащитных показателей, которые в зависимости от объектов нормирования (элемента конструкции/отдельной конструкции/всех ограждений) бывают поэлементные и комплексные.

Поэлементные требования относятся к элементам ограждения – плоским участкам (применяют 80% стран ЕС), тепловым мостикам ограждений (применяют несколько стран ЕС). Примером таких норм является коэффициент теплопередачи отдельных ограждений ( $U$ -value) – стен, окон, чердачных перекрытий и пр. Коэффициент теплопередачи отражает теплозащитные свойства плоских глухих участков ограждений, доступный к пониманию потребителя (Заказчика) и прост в вычислении (сумма термических сопротивлений слоев конструкции и сопротивлений тепловосприятости поверхностей).

Нормированием значений тепловых мостиков ограничивают удельные потери теплоты через теплотехнические неоднородности как элементов ограждений, которые являются существенными и могут достигать 50% от значений «по глади» конструкции. Показатель требует специальных расчетов или наличия справочных значений. В странах ЕС справочные значения тепловых мостиков приведены в национальных стандартах, специально разработанных каталогах.

Комплексные требования базируются на нескольких параметрах. Например, приведенное сопротивление теплопередаче, используемое в строительных нормах стран СНГ, является комплексным показателем ограждения, так как характеризует теплозащитное свойство с учетом тепловых мостиков (теплопроводных включений) и зависит от их количества (площади, протяженности, количества). При более сложной методике определения показатель

наиболее точно соответствует реальной конструкции, чем сопротивление теплопередаче «по глади».

Примером комплексного показателя являются также удельные потери теплоты через все ограждающие конструкции здания (Германия). В некоторых странах ЕС используют максимальные теплотери через ограждающие конструкции (табл. 1).

С точки зрения влияния на конечный показатель – энергопотребление здания – большим преимуществом обладают нормы, кото-

рые кроме теплозащитных свойств регулируют компактность зданий. Примером такого показателя является удельная теплозащитная характеристика, используемая в Российской Федерации, Республике Казахстан, Молдове, Туркменистане. Показатель отражает количество теплоты, теряемого единицей объема здания.

Преимуществом комплексных показателей является их гибкость и эффективность. Например, использование в качестве нормы приведенного коэффициента теплопередачи ог-

Таблица 1

Нормируемые теплозащитные показатели ограждающих конструкций в странах ЕС [1]

Страна	Нормируемые теплозащитные показатели ограждений			
	Максимальные теплотери (теплопоступления)	Максимальный коэф-т теплопередачи отдельных ограждений ( $U$ , Вт/м <sup>2</sup> ·°С)	Максимальный общий коэф-т теплопередачи <sup>1)</sup> ( $U_o$ , Вт/м <sup>2</sup> ·°С)	Другие
Австрия	×	×		
Бельгия (Br) Брюссель	×	×		
Бельгия (Fl) Фламандия	×	×		
Бельгия (Wl) Валония		×		
Болгария		×		
Чехия		×		
Дания	×	×		
Эстония	×		×	
Финляндия		×		
Франция				×
Германия	×			
Хорватия		×		
Ирландия		×		
Италия <sup>2)</sup>				×
Латвия	×	×		
Литва		×		
Люксембург		×		
Нидерланды		×	×	
Польша		×		
Португалия	×	×		
Румыния	×	×		
Словения	×	×		
Испания	×	×		
Швеция <sup>3)</sup>	×	×	×	
Англия		×		

<sup>1)</sup> отнесенный к общей площади ограждений или отапливаемой площади

<sup>2)</sup> в Италии установлены требования при расчете эталонного здания и могут быть заменены с улучшениями других показателей

<sup>3)</sup> в Швеции установлены требования к  $U$  только для небольших зданий и максимальные теплотери для зданий с электроотоплением

раждающих конструкций позволяет сочетать конструкции с различными сопротивлениями теплопередаче, сбалансированными под целевой нормируемый показатель. Использование удельной теплозащитной характеристики, кроме теплозащитных свойств ограждений, регулирует существенные факторы влияния на энергопотребление здания – компактность здания и остекленность фасада.

### Факторы, определяющие нормативные значения теплозащитных показателей

Установление норм теплозащитных показателей производят в зависимости от:

- функционального назначения (жилое, общественное, производственное);
- климатических параметров;
- вида строительства (новое, ремонт).

Такая классификация прослеживается во всех странах. При небольших размерах страны и территории с равномерным климатом нормы в отдельных странах могут быть едиными. Практикуется также для нормирования теплозащитных показателей разбивка территорий страны на зоны по показателю градусо-суток отопительного периода.

В Российской Федерации, Республике Казахстан, Туркменистане, Армении, Молдове нормативные значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций определяют с использованием зависимости (1) [2]:

$$R^{req} = a \cdot HDD + b, \quad (1)$$

HDD – градусо-сутки отопительного периода;  
 $a$ ,  $b$  – коэффициенты, установленные в [2], например, для наружных стен  $a = 0,00035$ ,  $b = 1,4$ .

Применение зависимости (1) удобно при значительной разнице градусо-суток отопительного периода на территории страны.

### Методика и результаты сравнения норм стран ЕС и СНГ

В качестве сравниваемого показателя приняты нормы по приведенному сопротивлению теплопередаче наружных стен и чердачных перекрытий новых жилых зданий. Для стран СНГ – это величина  $R$ ,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , для стран ЕС она определена как обратная величина коэффициента теплопередачи отдельных ограждений  $U$ ,  $Вт / m^2 \cdot ^\circ C$ .

Сравнение выполнялось с учетом климатических параметров и влияния теплопроводных включений (тепловых мостиков).

Для сравнения со странами ЕС выполнена их статистическая обработка, позволяющая упростить анализ. Для этого аппроксимацией линейной зависимостью норм стран ЕС сначала были получены зависимости сопротивления теплопередаче ( $R$ ) от градусо-суток отопительного периода (HDD) – рис. 1, а затем по ним выполнено упрощенное сравнение с нормами стран СНГ – рис. 2. Данные по HDD как средние за период с 1974 по 2016 гг. приняты с использованием данных EUROSTAT [3]. Необходимо отметить, что значения HDD по методике [6–7] рассчитываются по температуре внутреннего воздуха  $t_{int} = 18 \text{ }^\circ C$  и температуре наружного воздуха, соответствующей началу отопительного периода  $t_b = 15 \text{ }^\circ C$ . Данные по нормативным значениям  $R$  приняты по данным [4].

По графикам рис. 1 видно, что в нормах стран ЕС в целом взаимосвязь HDD и  $R$  прослеживается, однако коэффициент детерминации  $R^2$  (относительные отклонения от линейной зависимости) довольно низкий (0,4–0,5). Это означает, что градусо-сутки являются существенным, но не единственным фактором для установления норм в странах ЕС.

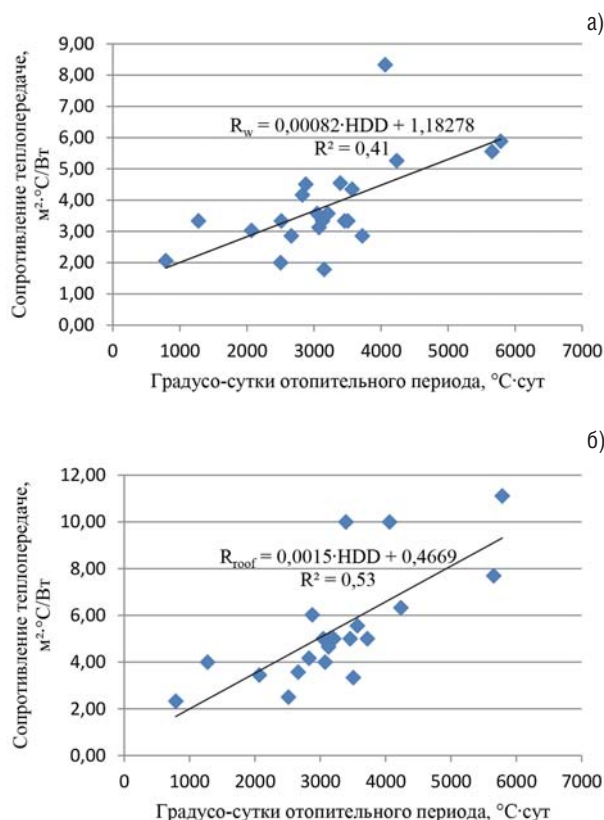


Рис. 1. Упрощенные зависимости нормативных значений сопротивления теплопередаче наружных стен и чердачных перекрытий новых жилых зданий стран ЕС (2017 г.)  
 а) нормы для наружных стен  
 б) нормы для чердачных перекрытий

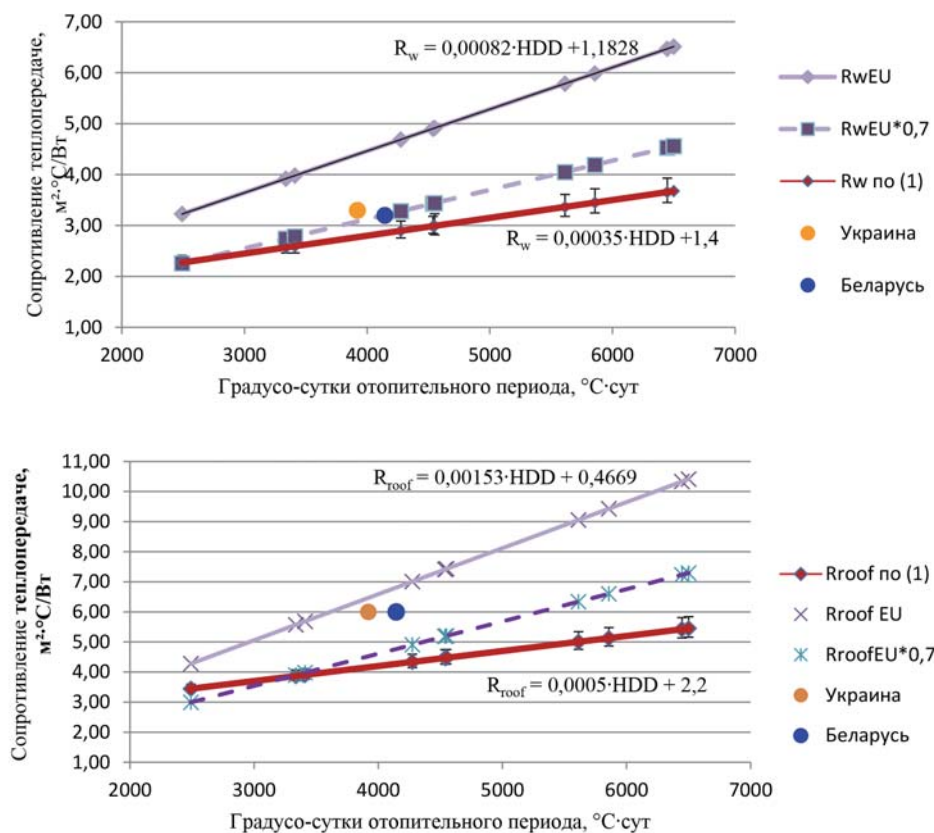


Рис. 2. Сравнение нормативного сопротивления теплопередаче наружных стен и чердачных перекрытий новых жилых зданий стран СНГ и ЕС  
 а) нормы для наружных стен  
 б) нормы для чердачных перекрытий

Сравнение норм стран ЕС и стран СНГ на примере наружных стен приведено на рис. 2. Сравнение выполнялось с поправкой на тепловые мостики (коэффициент теплопередачи их не учитывает) и на климатические условия. Поправка на климатические условия необходима из-за различной температуры наружного воздуха, от которой начинается период отопления.

Сравниваемые нормативные значения сопротивления теплопередаче стран ЕС определены по формуле:

$$R_{EU}^{req} \approx (1/U) \cdot r, \quad (2)$$

где  $U$  – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции,  $m^2 \cdot ^\circ C / Wt$ ;  
 $r$  – коэффициент теплотехнической однородности (поправка на тепловые мостики), принят равным 0,7<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Похожую величину изменения коэффициента теплопередачи принимают в Германии для учета тепловых мостиков без их расчета

Сравниваемые нормативные значения сопротивления теплопередаче приведены на рис. 2. При этом для норм стран СНГ по зависимости (1) показано отклонение за счет погреш-

ности на HDD в размере 9 и 12%. Погрешности установлены расчетом величины HDD с использованием продолжительности градаций температуры, приведенных в [5], и на рис. 2 показаны планками отклонений. Значения для Беларуси и Украины показаны для увеличенных на 12% градусо-суток отопительного периода.

Как видно из рис. 2, влияние коэффициента теплотехнической однородности выше, чем колебаний градусо-суток. Реальные конструкции наружных стен обладают коэффициентом теплотехнической однородности от 0,7 до 0,56. Поэтому в принятых условиях сравнения можно считать, что нормативные значения по сопротивлению теплопередаче наружных стен стран ЕС и СНГ примерно равны.

Нормативные значения сопротивления теплопередаче чердачных перекрытий стран СНГ  $R_{СНГ}$  в среднем на 17% ниже, чем  $R_{EU}$  при принятом коэффициенте теплотехнической однородности  $r = 0,7$ . Учитывая, что коэффициент теплотехнической однородности реальных перекрытий выше (оценочно от 0,85 до 0,8), то расхождение по этой величине составит около 25%.

Нормы Беларуси и Украины превышают аналогичные нормы стран СНГ. По наружным стенам нормы Беларуси и Украины выше

на 19 и 26 %. С учетом возможности снижения норм по стенам в Украине и Беларуси на 20% (если производится детальный расчет  $R$ ), это расхождение нивелируется. По чердачным перекрытиям нормы Беларуси и Украины почти на 50% выше установленных в других странах СНГ.

При сравнении необходимо учитывать, что зависимости, используемые для значений европейских норм, приняты с коэффициентом детерминации  $R^2 \approx 0,5$  (отклонение реальных значений от усредняющей зависимости).

Установленный низкий коэффициент детерминации означает, что для норм стран ЕС климатические условия эксплуатации не являются единственным и определяющим фактором.

Основанием норм стран ЕС являются экономические расчеты, подтверждающие принятый уровень теплозащиты ограждений, в комплексе с другими энергосберегающими мероприятиями. Согласно Директиве по энергетическим характеристикам зданий 2010/31/ЕС [6], нормы тепловой защиты в комплексе с другими нормами энергопотребления зданий, должны устанавливаться с целью достижения оптимального с точки зрения затрат равновесия между инвестициями и сэкономленными затратами на энергию в течение жизненного цикла здания. При отклонении оптимальных значений от нормируемых более, чем на 15%, необходимо эту разницу обосновать или составить план мер по ее сокращению. В период 2012–2013 гг. страны ЕС выполняли обозначенные расчеты и представляли обоснования оптимальных значений энергетических и теплозащитных показателей по единой утвержденной методологии.

В странах СНГ подобный подход обоснования норм не установлен.

### Тенденции развития норм теплозащитных показателей

При установленном уровне требований к тепловой защите в странах ЕС ожидается, что для новых зданий в перспективе дальнейшее ужесточение требований по коэффициенту теплопередачи прекратится. Причина – достижение уровня категории NZEB (здания с «почти нулевым уровнем потребления энергии»), строительство которых должно быть обязательным с 2020 г. – жилых, с 2018 г. – общественных зданий. Основным потенциалом повышения энергоэффективности фонда зданий остается существующий жилой фонд, на который теперь направлены основные усилия стран ЕС.

В странах СНГ за 10-летний период изменение норм тепловой защиты ограждающих конструкций произошло в нескольких странах – Респу-

блике Беларусь, Кыргызстане, Туркменистане, Украине, Узбекистане. В остальных странах нормы существенно не менялись. В Российской Федерации и остальных странах СНГ с нормами-аналогами [2] произошла корректировка методики расчета приведенного сопротивления теплопередаче с учетом теплопроводных включений (тепловых мостиков) в виде справочных значений. В Российской Федерации введен СП 230.1325800.2015 [7] со справочными таблицами этих значений. Аналогично поступили в Украине. Подобные каталоги (таблицы справочных значений) имеются в странах ЕС. Так как тепловые мостики снижают сопротивление теплопередаче, то для достижения нормативного значения требуется либо увеличение толщины теплоизоляции, либо переработка конструкции с исключением тепловых мостиков. В любом случае более точный учет теплопроводных включений повышает качество проектирования ограждений и систем отопления.

В Республике Беларусь активизируется гармонизация с нормами стран ЕС. В качестве национальных принят ряд основных стандартов по определению теплозащитных показателей. С 2014 г. введено изменение, уточняющее методику детального расчета приведенного сопротивления теплопередаче. Однако ее использование в массовом проектировании проблематично из-за повышенной трудоемкости расчетов. В этой связи планируется разработка национального Каталога основных узлов теплопроводных включений, которые позволят проектировщикам упростить учет теплопроводных включений, снизить риск образования конденсата на внутренней поверхности ограждений, повысить качество проектирования ограждающих конструкций и систем отопления.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Jens Lausten, Sophie Shnapp. Building resilience through building codes. Secondary Level Requirements for Heating and Cooling—Main Report—August 2016.
2. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.
3. Данные по градусо-суткам ЕС по официальным данным EUROSTAT. – Режим доступа: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>.
4. Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). Featuring Country Reports 2016. – Режим доступа: [www.epbd-ca.eu](http://www.epbd-ca.eu).
5. Справочное пособие к СНиП «Строительная климатология». – М., 1990.
6. DIRECTIVE 2010/31/EU Directive of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of building.
7. СП 230.1325800.2015 Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей.



# ОГНЕСТОЙКОСТЬ И ОГНЕСОХРАННОСТЬ СЖАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОКЛАВНЫХ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ БЛОКОВ



**Кудряшов В.А.,**  
к.т.н., доцент,  
Университет гражданской  
защиты МЧС Беларуси  
(г. Минск, Беларусь)



**Нгуен Тхань Киен,**  
к.т.н., Институт  
противопожарной  
безопасности Министерства  
общественной  
безопасности Вьетнама  
(г. Ханой, Вьетнам)



**Чан Чунг Хиеу,**  
Университет архитектуры  
(г. Ханой, Вьетнам)



**Мордич М.М.,**  
Белорусский национальный  
технический университет  
(г. Минск, Беларусь)

## Введение

Огнестойкость – это способность строительных конструкций выполнять несущие и ограждающие функции при пожаре. За огнестойкость конструкции принимают такое ее состояние, при котором остаточная прочность или необратимые деформации обеспечивают надежную работу после пожара. Таким образом, огнестойкость и огнестойкость – ключевые характеристики в области пожарной безопасности, обеспечивающие «сохранение сооружения от разрушения и выполнение средствами противопожарной защиты и пожаротушения своих функций» (ТР 2013/ВУ [1]). Данное положение характерно для многих стран, в том числе Беларуси.

Вместе с высокими эксплуатационными характеристиками автоклавный ячеистый бетон является неорганическим негорючим материалом, обладающим высокой сопротивляемостью огневому воздействию. В Республике Беларусь имеются ограниченные данные по результатам испытаний огнестойкости конструкций с применением автоклавных ячеистобетонных блоков толщиной 300...400 мм, показывающих пределы огнестойкости 90...150 минут и более. Однако распространить их на всю номенклатуру изделий, в том числе толщиной 120...300 мм, не представляется возможным. При высокой огнестойкости вопрос огнестойкости для конструкций имеет большее значение, однако эта область в настоящее время является наименее изученной, в том числе и для ячеистых бетонов.

В Республике Беларусь действует ряд гармонизированных европейских стандартов, таких как ТКП EN 1996-1-2 и СТБ EN 12602 [2, 3], включающих аналитические методики по оценке огнестойкости конструкций из автоклавных ячеистых бетонов. Представленные

методики несколько идеализированы и не позволяют сделать однозначный вывод об огнестойкости конструкций. Вопрос учета в расчете повышенной прочности конструкции в слоях, нагретых от 200 до 700 °С, требует детального изучения и экспериментального обоснования. Немаловажным является также и то, что свойства автоклавных ячеистых бетонов весьма чувствительны к особенностям технологического производства, к составам и качеству исходных компонентов.

Обзор литературных источников и технических нормативных правовых актов показал, что автоклавные ячеистобетонные блоки являются эффективными строительными материалами, для оценки огнестойкости и огнестойкости которых необходимо проведение лабораторных и натурных огневых испытаний, разработки методики расчета и рекомендаций по конструированию [4–7].

### Основная часть

Целью экспериментальных исследований [4–7] являлась разработка методики расчета огнестойкости и огнестойкости конструкций из автоклавных ячеистых блоков на основе диаграмм деформирования в сжатом и растянутом напряженном состоянии, а также структурных и теплофизических характеристик исследуемого материала. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведены исследования прочности образцов автоклавного ячеистого бетона в диапазоне температур 20...1000 °С и получены необходимые данные для построения диаграмм деформирования в сжатом и растянутом напряженном состоянии с учетом результатов статистической обработки экспериментов.

2. Проведены термогравиметрические, спектральные и тепловые исследования образцов автоклавного ячеистого бетона и получены данные по изменению плотности материала, усадке, а также о фазовых и физико-химических процессах, протекающих в структуре материала при нагреве.

3. Проведено тепловое моделирование граничных к пожару слоев ячеистого бетона и получены данные для верификации расчетных моделей прогрева и теплофизических характеристик.

В качестве основы для оценки прочностных характеристик и построения диаграмм деформирования при нагреве принята методика по ГОСТ 24452 [8] с учетом положений ГОСТ 10180 [9]. Ввиду отсутствия дорогостоящего оборудования, особенностей изучаемого

материала, а также с целью более подробно изучения его физико-механических характеристик после нагрева, испытания образцов проводили с отдельным нагревом до заданной температуры, охлаждением и последующим испытанием на автоматической сжимающе-разрывной испытательной машине.

Для испытаний при содействии ОАО «Управляющая компания холдинга «Забудова» было подготовлено 32 образца призм из автоклавного ячеистого бетона класса по прочности на сжатие В2,5, марки по средней плотности D500 согласно СТБ 1117 [10] с усредненными размерами 70×70×280 мм. Фактическая плотность образцов составляла  $566 \pm 20$  кг/м<sup>3</sup> [4, 7]. Размеры образцов были обусловлены ограничениями внутреннего пространства имеющейся камерной печи. План проведения эксперимента предусматривал 8 серий испытаний (по 4 образца в каждой) и включал испытания ненагреваемых и нагреваемых (с шагом в 200 °С) образцов при сжатии и изгибе. Все образцы были изготовлены в ноябре 2014 года и кондиционировались при нормальных условиях полтора года при температуре  $20 \pm 5$  °С и относительной влажности  $50 \pm 10$  %.

Ввиду высокой пористости изучаемого материала, стандартные испытания по оценке теплофизических свойств были дополнены модельными испытаниями по прогреву образцов-пластин с усредненными размерами 210×210×10(20) мм при одностороннем нестационарном тепловом потоке и максимальной теплоизоляцией необогреваемой стороны с фиксацией изменения температуры [5, 7].

Для исключения преждевременного разрушения образцов-призм от неравномерных температурных деформаций усадки, их нагрев производили ступенчато, с нарастающим периодом нагревания и длительной выдержкой на заключительном этапе нагревания [7]. Средняя скорость нагрева образцов составила приблизительно 30 градусов в минуту. Это ниже скорости роста стандартного пожара, но соответствует средней скорости прогрева граничного обогреваемого слоя ячеистого бетона толщиной 10 мм. Обобщенный график нагрева с усредненными данными температур между верхней, нижней поверхностью и центром образцов-призм по результатам статистической обработки представлен на рис. 1. Охлаждение образцов проводили в закрытой печи по инерционному режиму, но не менее 12 часов до температуры  $30 \pm 10$  °С. Скорость охлаждения образцов-призм контролировали, не допуская превышения скорости нагрева.

Измерение массы и размеров образцов на всех этапах испытаний позволили выявить за-

зависимости изменения кажущейся плотности и усадки ячеистого бетона при нагреве до высоких температур и последующего охлаждения. Как показано на рис. 2, для массы, плотности, объема и размеров выявлены линейные

зависимости изменения от температуры нагрева. Для ячеистых бетонов характерен достаточно высокий коэффициент температурной усадки, составляющий 0,0015%/°C либо 0,015 мм/(м·°C).

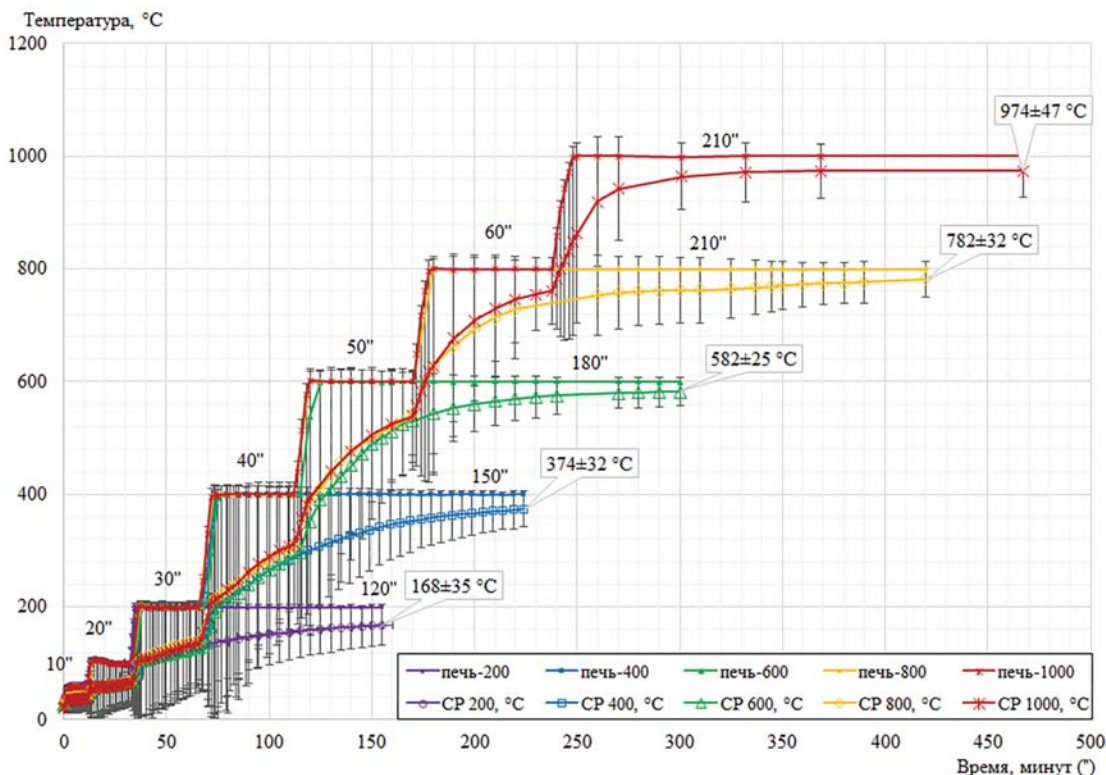


Рис. 1. Режим нагрева экспериментальных образцов-призм

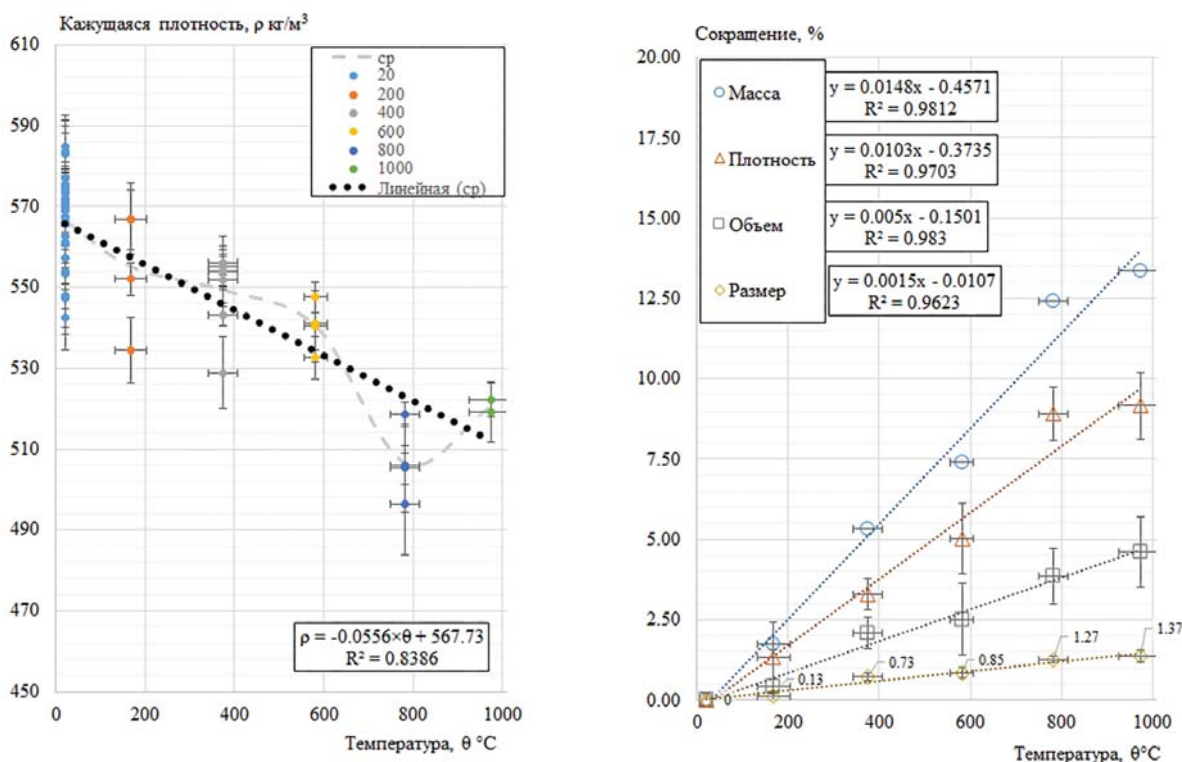


Рис. 2. Характер изменения кажущейся плотности и относительного сокращения массовых и размерных характеристик ячеистого бетона при усадке

Дифференциально-термический и термогравиметрический анализ показал [7], что для ячеистого бетона массовая и объемная усадка до температур 300...400 °С вызвана прежде всего удалением адсорбированной поровой воды. Для диапазона температур 600...900 °С характерны структурные преобразования, сопровождающиеся эндотермическими и экзотермическими эффектами (рис. 3).

Дифрактограммы образцов ячеистого бетона после прочностных испытаний (для всех ступеней нагрева), показали, что фазовый состав при нагреве претерпевает существенные изменения [7]. И если в начальных условиях и вплоть до 350...400 °С основными структурообразующими минералами являлись кальцит  $\text{CaCO}_3$  и тоберморит-11Å  $\text{Ca}_5(\text{OH})_2\text{Si}_6\text{O}_{16}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , то после прогрева при температурах, близких к 1000 °С, преобладает минерал волластонит-2М  $\text{CaSiO}_3$ . О кристаллизации волластонита, образовавшегося при дегидратации тоберморита свидетельствует экзотермический эффект при температуре 828 °С (рис. 3). Как отмечают отдельные исследователи, именно тоберморит обеспечивает высокую прочность межпоровых перегородок ячеистого бетона, а соответственно и прочность материала в целом.

Сущность прочностных испытаний заключалась в сжатии образцов-призм, прошедших тепловой нагрев, вдоль продольной оси до разрушения [4, 7]. Для оценки разрывной прочности при изгибе образцы-призмы устанавливали на линейные шарнирные опоры и прикладывали сосредоточенную нагрузку в середине вплоть до разрушения.

Процесс прочностных испытаний сопровождался синхронным построением диаграммы деформирования (Н – мм) испытательной машиной. Ввиду отсутствия дорогостоящего оборудования в виде индикаторов деформаций,

деформации образцов во время испытаний фиксировали по данным перемещения траверсы испытательной машины. Статистическая обработка диаграмм деформирования проведена на основе среднего арифметического координат напряжений и деформаций, соответствующих равным долям напряжений от пикового значения.

Выявлено, что прочность и предельные относительные деформации автоклавного ячеистого бетона в диапазоне температур от 200 до 600 °С (соответствует диапазону от  $168\pm 35$  до  $582\pm 25$  °С согласно режиму нагрева) выше в 1,5 раза по сравнению с исходными образцами. Прочность и деформации в указанном диапазоне температур изменяются незначительно, и с точностью  $\pm 15\%$  могут быть обобщены (рис. 4а). Для диапазона температур 800...1000 °С (соответствует диапазону от  $782\pm 32$  до  $974\pm 47$  °С согласно режиму нагрева) характерно существенное снижение прочности и увеличение предельных деформаций сжатия, что полностью соответствует данным термогравиметрического и рентгенографического исследований.

Результаты испытаний образцов-призм на растяжение при изгибе (рис. 4б) показали прочность исходных образцов-призм и образцов-призм, предварительно нагреваемых до температуры 400 °С (соответствует  $374\pm 32$  °С согласно режиму нагрева), равную в среднем, соответственно, 0,96 МПа и 0,14 МПа. При этом для нагреваемых блоков характерен значительный разброс прочности от 0,03 до 0,31 МПа (на рис. 4б приведено только среднее значение), что вызвано наличием усадочных трещин, несмотря на принятые предосторожности в режиме нагрева. Очевидно, что для более высоких температур нагрева прочность ячеистого бетона на растяжение стремится к нулю.

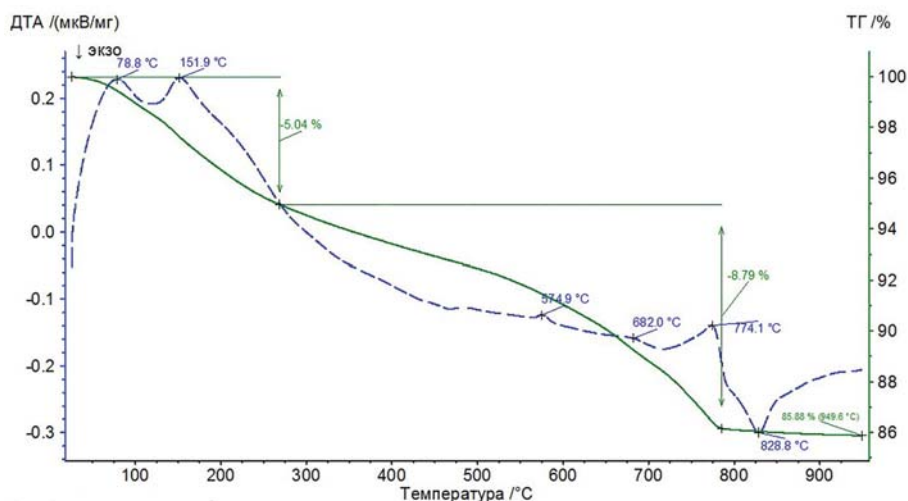


Рис. 3. Результаты дифференциально-термического и термогравиметрического анализа образцов автоклавного ячеистого бетона

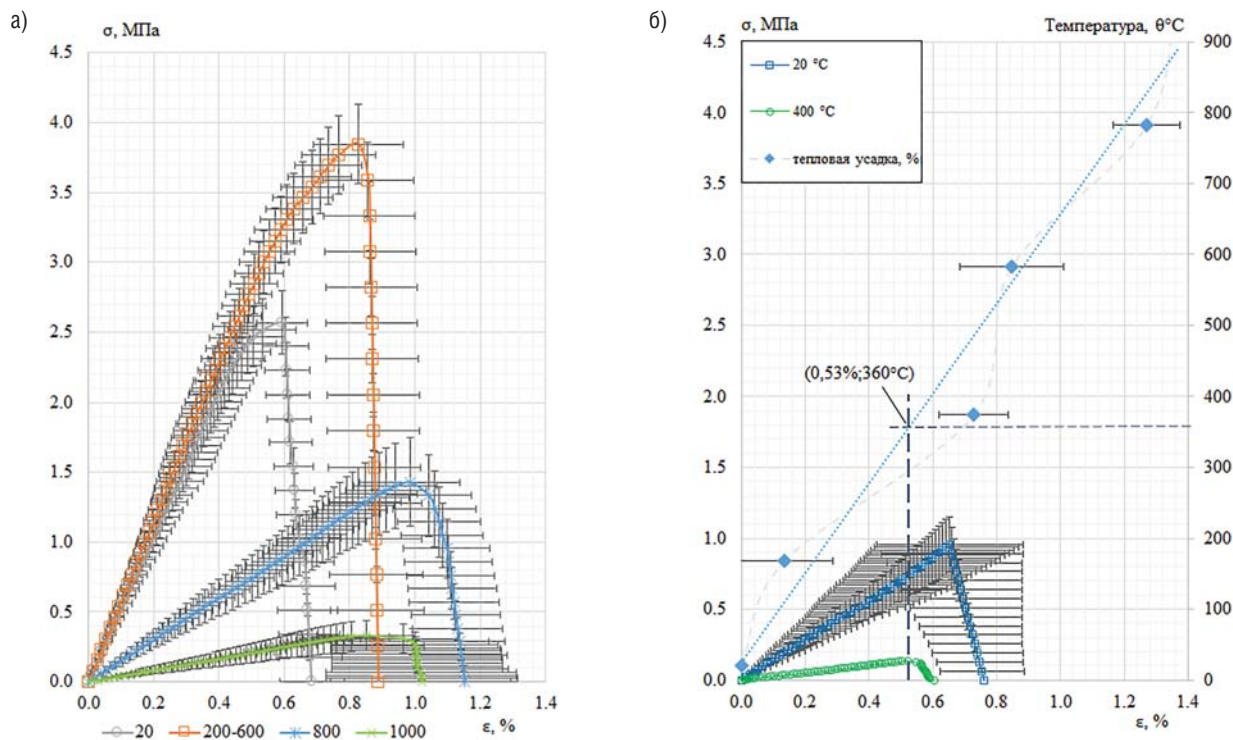


Рис. 4. Диаграммы деформирования ячеистого бетона при нагреве: а) сжатие и б) растяжение  
Температуры соответствуют режиму нагрева образцов согласно рис. 1.

При сопоставлении деформаций усадки (температурная шкала) и растяжения (шкала напряжений) на рис. 4б (растяжение) выявлено, что для ячеистого бетона, нагретого до температур выше 360 °С, есть высокая вероятность образования усадочных трещин. Это особенно характерно для ненесущих перегородок, в которых отсутствуют компенсирующие напряжения сжатия.

Для оценки огнестойкости реальных конструкций, выполненных из автоклавного ячеистого бетона, проведены натурные огневые испытания фрагмента конструктивной системы на основе стального каркаса с использованием плитных огнезащитных материалов [6, 7]. Ячеистые блоки в указанном эксперименте играли роль огневой камеры. Основная задача при проектировании фрагмента состояла в том, чтобы конструкции ячеистобетонных стен

выдержали не менее 60 минут огневого воздействия, близкого к стандартному. При проектировании ограждающих конструкций было принято решение использовать наиболее тонкие перегородочные блоки толщиной 120 мм. Такая перегородка представляет особый интерес, т.к. в зависимости от условий применения ее огнестойкость может сильно различаться (см. ТКП EN 1996-1-2 [2]).

Для исключения взаимного влияния при перемещениях, стены и стойки стального каркаса были запроектированы на удалении не менее 200 мм друг от друга. Для возведения стен на основании столбчатых монолитных фундаментов были установлены железобетонные ростверки размерами 150×150 мм каждый на утрамбованной песчаной подушке. При строительстве были использованы ячеистобетонные блоки автоклавного тверде-

#### Обобщенные параметры диаграмм деформирования

Таблица 1

$\theta, ^\circ\text{C}$	$f_{ck}, \text{МПа}$	$k_{c,t}$	$\beta_{c,t}$	$\varepsilon_{c1,t}, \%$	$\varepsilon_{cu,t}, \%$
20	2,57	1,00	1,00	0,593	0,684
168±35...582±25	3,85	1,50	1,11	0,827	0,887
782±32	1,43	0,56	0,29	0,985	1,153
974±47	0,33	0,13	0,08	0,851	1,021

Примечание:  $f_{ck}$  – пиковое значение напряжений (прочность), МПа;  $k_{c,t}$  – коэффициент снижения прочности при нагреве;  $\varepsilon_{c1,t}$  и  $\varepsilon_{cu,t}$  – соответственно, значения пиковой и предельной деформации, %.

ния Минского комбината силикатных изделий марки 2,5-500-3,5-1 по СТБ 1117 [10], размерами 625×120×249 мм (длина×ширина×высота). Ввиду того, что стены (перегородки) не были сопряжены с несущим каркасом, для обеспечения их устойчивости было применено решение, предусматривающее включение элементов жесткости в виде двутаврового профиля № 12 по ГОСТ 8239 [11] в пределах толщины стены, каждый длиной 3,0 м, раскрепленных в середине раскосами (рис. 5).

Сущность методики испытаний заключалась в изучении поведения и огнестойкости комплекса взаимосвязанных конструктивных элементов при сжигании реальной пожарной нагрузки (около трех с половиной тонн масла и древесины) до полного разрушения. В ходе экспериментальных исследований производили замер температуры внутри фрагмента, на обогреваемой и необогреваемой стороне стен, в иных контрольных точках, фиксировались все факторы, влияющие на поведение и повреждение конструкций при пожаре.

В результате испытаний установлено, что конструктивные решения на основе ячеистобетонных блоков с включением стальных элементов жесткости не являются огнестойкими при пожаре. Даже незначительное повышение температуры стали до температур 100...200 °С (в том числе с огнезащитой) приводят к возникновению разрушительного теплового момента.

Участок стены без огнезащиты (рис. 5в, 6) прогрелся до температуры не выше 85 °С, что

соответствует пределу огнестойкости EI 60. После охлаждения со стороны нагрева зафиксировано значительное количество усадочных трещин, хаотично ориентированных, что существенно снизило устойчивость стены и свидетельствует о недостаточной ее огнесохранности.

Проведенные исследования позволили сформулировать упрощенную методику расчета огнестойкости и огнесохранности [12] кладки из ячеистых бетонных блоков [4, 7]:

1. Решить теплотехническую задачу прогрева сечения (для огнесохранности – с учетом стадии охлаждения) и определить расположение изотерм максимальных температур в сечении с шагом 50 градусов. Для практических расчетов температуру граничных обогреваемых слоев с достаточной точностью можно определять по классической формуле (4.4) для железобетона, с использованием усредненных теплофизических характеристик: коэффициент теплопроводности – 0,30 Вт/(м·°С); удельная теплоемкость – 1,170 кДж/(кг·°С); расчетный коэффициент – 0,40 ч<sup>0.5</sup>.

$$\theta = 20 + 1200 \left( 1 - \frac{x_i + \varphi \cdot \sqrt{a_{red}}}{\sqrt{0,2 \cdot a_{red} \cdot \tau}} \right); \quad a_{red} = \frac{3,6 \lambda}{\rho \cdot C} \quad (1)$$

где  $x_i$  – толщина  $i$ -го слоя, м;  
 $\varphi$  – расчетный коэффициент, ч<sup>0.5</sup>.

2. Оценить толщину слоя (1) с изотермой максимальных температур 350 °С (для ненесущих конструкций) и 750 °С (для несущих конструкций).

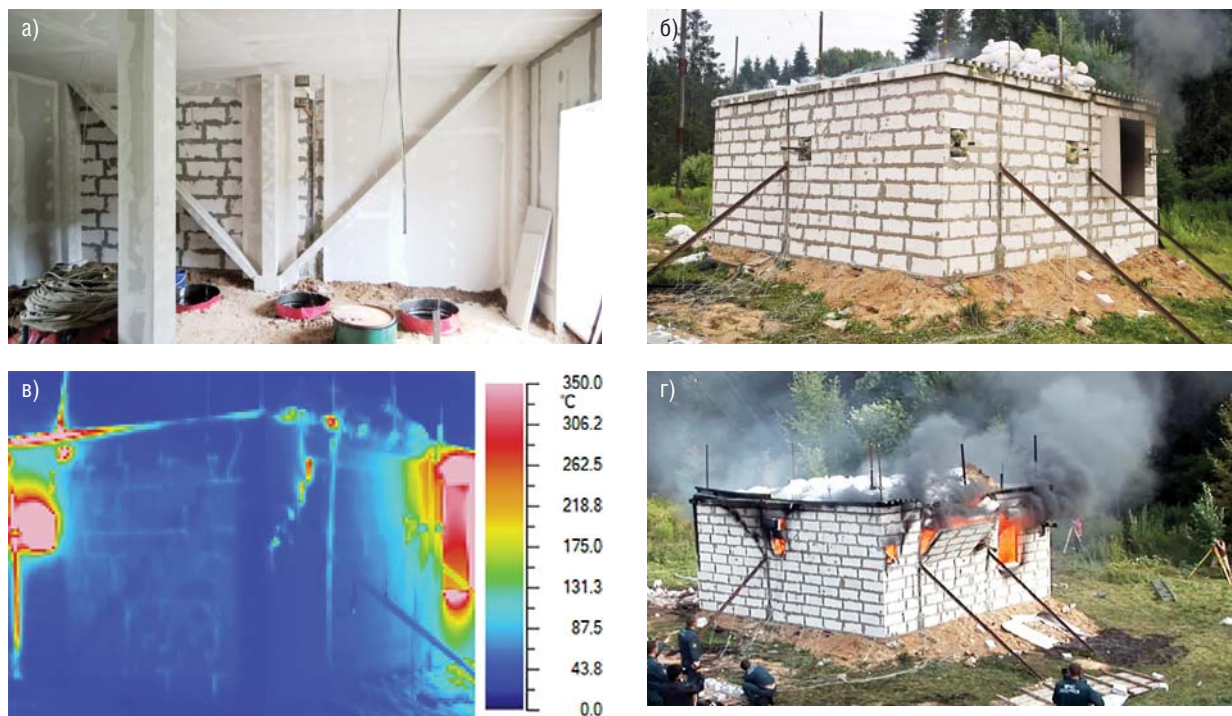


Рис. 5. Общий вид экспериментального фрагмента и натуральных огневых испытаний: а) изнутри до начала испытаний; б) в начале испытаний; в) в ходе испытаний (тепловизор); г) в момент разрушения стального каркаса

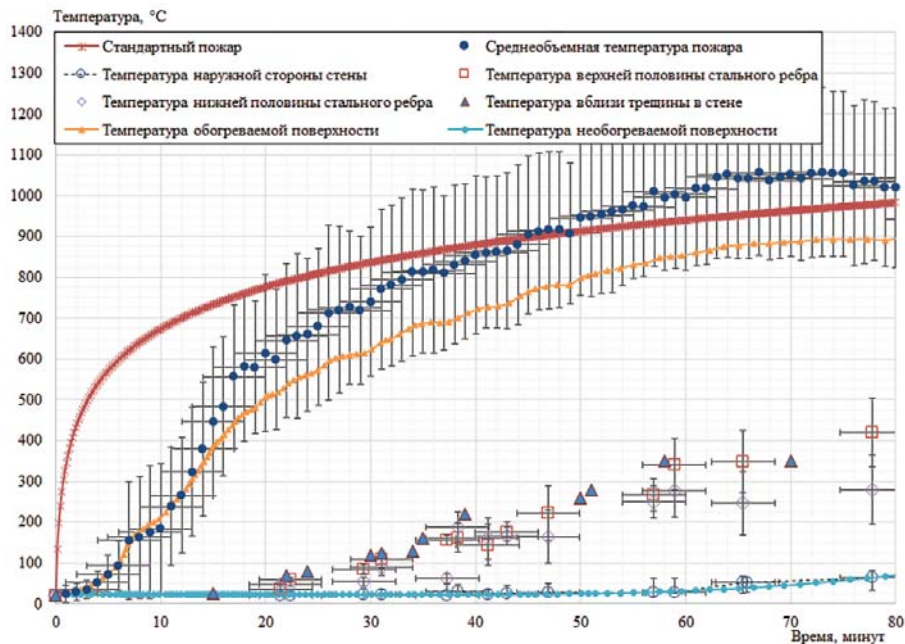


Рис. 6. Прогрев незащищенной стены из ячеистобетонных блоков

2.1. Для ненесущих конструкций нагрев выше 350 °С приводит к деформациям растяжения, в этом случае высока вероятность образования усадочных трещин и такие слои не следует учитывать в расчете прочности и устойчивости. К ненесущим стенам и перегородкам, как правило, требования по прочности при пожаре не предъявляются [13]. Поэтому особое внимание необходимо обратить на снижение устойчивости конструкции во время и после пожара (для оценки огнесохранности), ввиду снижения эффективной толщины и увеличения ее гибкости.

2.2. Для несущих конструкций все слои находятся в сжатом состоянии и деформации усадки компенсированы, поэтому следует определить слои, нагретые выше температуры 750 °С. С учетом низкой прочности и большей деформативности их не следует учитывать в расчете прочности и устойчивости.

3. Общую оценку сжатого сечения следует определять по классической формуле (2) [14] с площадью поперечного сечения, уменьшенной на основании п. 2. Повышением прочности при температурах 200...600 °С следует пренебречь, так как повышенное сопротивление обеспечивается при более высоких деформа-

циях по сравнению с более холодными слоями (см. таблицу 2).

$$N_{Rd,0} = \Phi \cdot f_d A_\varepsilon \quad (2)$$

где  $N_{Rd,0}$  – прочность кладки, Н;  
 $\Phi$  – коэффициент уменьшения сопротивления стены сжатию (потери устойчивости);  
 $f_d$  – расчетное сопротивление кладки при нормальных условиях, МПа;  
 $A_\varepsilon$  – площадь сечения кладки, за вычетом слоев, прогретых выше критических температур, м<sup>2</sup>.

Результаты расчета по предложенной методике дают удовлетворительную сходимость с имеющимися экспериментальными данными (протокол НИИ ПБичС МЧС Беларуси № 52/738П от 12.04.2006). Стена из ячеистобетонных блоков В1,5 толщиной 400 мм, высотой 3100 мм, эксцентриситетом приложения нагрузки 80 мм. Через 150 минут стандартного огневого воздействия изотерма 750 °С будет располагаться на расстоянии 75 мм (определено по формуле 1). При коэффициенте уменьшения сопротивления стены сжатию (потери устойчивости), равным 0,55, указанная стена сможет выдержать нагрузку 330 кН/м, что выше испытательной, равной 67,7 кН/м. Предел огнестойкости REI 150 обеспечен.

#### Рекомендуемые параметры упрощенного расчета

Таблица 2

$\Theta$ , °С	$f_{ck}$ , МПа	$k_{c,t}$	$E_{ck}$ , МПа	$\beta_{c,t}$	$\varepsilon_{c1,t}$ , %	$\varepsilon_{cu,t}$ , %
20...750	2,57	1,00	522	1,00	0,593	0,684
750 и более	0,0	0,0	0,0	0,0	–	–

## Заключение

1. Разработана методика лабораторных исследований при высокотемпературном нагреве образцов из автоклавных ячеистых бетонных блоков, включающая отдельный длительный нагрев в камерной электропечи при постоянной температуре и последующее испытание на прочность при сжатии (растяжение при изгибе) до разрушения, оценку закономерностей процесса теплопередачи, усадки и структурных изменений газобетона при высокотемпературном нагреве.

2. Получены диаграммы деформирования в сжатом и растянутом напряженном состоянии при нагреве до температуры 1000 °С. Выявлено, что прочность и предельные относительные деформации сжатия газобетона в диапазоне температур от 168±35 до 582±25 °С изменяются незначительно, и с точностью ±15 % могут быть обобщены. Для диапазона температур от 782±32 до 974±47 °С характерно существенное снижение прочности и увеличение предельных деформаций сжатия, связанное с дегидратацией тоберморита и кристаллизацией волластонита.

3. Определены зависимости снижения плотности и усадки газобетона при нагреве. При сопоставлении деформаций усадки и растяжения выявлено, что для ячеистого бетона, нагретого до температур выше 360 °С существует вероятность образования усадочных трещин. Это особенно характерно для несущих перегородок, в которых отсутствуют компенсирующие напряжения сжатия.

4. Толщину слоев, прогретых до критических температур, с достаточной точностью можно определять по классической формуле для железобетона, с использованием усредненных теплофизических характеристик, что подтверждено результатами теплового моделирования.

5. Разработана методика натуральных огне-вых испытаний, включающая проектное решение тонкостенных конструкций из ячеистых блоков, режим нагрева и способы контроля. В результате испытаний установлено, что стена без огнезащиты прогрелась до температуры не выше 85 °С, что соответствует пределу огнестойкости EI 60, при этом ее огнестойкость не была обеспечена ввиду развитых по глубине усадочных трещин.

6. Предложена расчетная методика оценки огнестойкости и огнестойкости кладки из автоклавных ячеистых бетонных блоков, с учетом деформаций усадки и использования критических температур 350 °С для перегородок и 750 °С для несущих стен. Конструктивные решения на основе ячеистобетонных блоков с включением стальных элементов жесткости не являются огнестойкими при пожаре.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Технический регламент Республики Беларусь. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность. 4-е изд.: ТР 2009/013/ВУ. – Введ. 31.12.2009г. – Мн.: Госстандарт Республики Беларусь, 2015. – 28 с.

2. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 1–2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1996-1-2-2009 (02250). – Введ. 01.01.2010 г. – Мн.: Минстрой-архитектуры, 2010. – 100 с.

3. Государственный стандарт Республики Беларусь. Изделия железобетонные заводского изготовления из автоклавного ячеистого бетона: СТБ EN 12602-2011. – Введ. 01.07.2012 г. – Мн.: Госстандарт Республики Беларусь, 2013. – 150 с.

4. Кудряшов, В.А. Огнестойкость автоклавного ячеистого бетона на основе экспериментальных диаграмм деформирования после высокотемпературного нагрева / Т.К. Нгуен, В.А. Кудряшов // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 2/24. – С. 10–22.

5. Кудряшов, В.А. Моделирование прогрева конструкций из автоклавного ячеистого бетона в условиях пожара / Т.К. Нгуен, В.А. Кудряшов // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 2/24. – С. 23–35.

6. Кудряшов, В.А. Огневые испытания натурального фрагмента стального каркаса здания с конструктивной огнезащитой и ограждением из ячеистых стеновых блоков / Т.К. Нгуен, В.А. Кудряшов, С.М. Жамойдик, А.Е. Лупандин, С.С. Ботян, А.С. Дробыш // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2016. – № 1 (39). – С. 96–113.

7. Нгуен, Т.К. Огнестойкость и огнестойкость сжатых конструкций с применением автоклавных азрированных ячеистобетонных блоков: дис. канд. техн. наук: 05.26.03 / Т.К. Нгуен; Университет гражданской защиты МЧС Беларуси. – Минск, 2017. – 141 с.

8. Государственный стандарт Союза ССР. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона: ГОСТ 24452-80. – Введ. 01.01.1982 г. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 16 с.

9. Государственный стандарт. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012. – Введ. 01.02.2016 г. – Мн.: Госстандарт Республики Беларусь, 2015. – 33 с.

10. Государственный стандарт Республики Беларусь. Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия: СТБ 1117-98. – Введ. 01.04.1999 г. – Мн.: Госстандарт Республики Беларусь, 2015. – 15 с.

11. Межгосударственный стандарт. Двутавры стальные горячекатаные: ГОСТ 8239. – Введ. 27.09.1989 г. – Мн.: ИПК издательство стандартов, 1989. – 12 с.

12. Правила по обеспечению огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций: СТО 36554501-006-2006. – Введ. 20.10.2016 г. – Мн.: ФГУП «НИЦ Строительство», 2006. – 81 с.

13. Здания, строительные конструкции, материалы и изделия. Правила пожарно-технической классификации: ТКП 45-2.02-142-2010 (02250). – Введ. 01.12.2011 г. – Мн.: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 25 с.

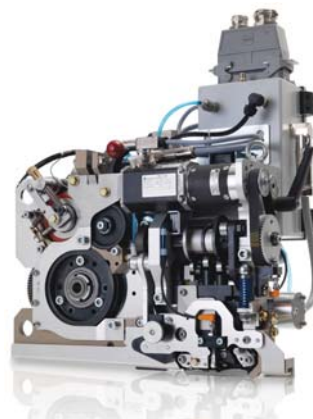
14. Ткачик, П.П. Каменные конструкции из силикатных изделий. Проектирование, конструктивные решения, производство работ / П.П. Ткачик; науч. ред. С.Л. Галкин. – Мн.: Стринко, 2012. – 376 с.



# ОБНОВЛЕННАЯ ЛИНЕЙКА ОБОРУДОВАНИЯ STRAPEX ДЛЯ УПАКОВКИ ГАЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ



**Жигулев К.И.,**  
менеджер  
по продажам проектов  
ЗАО «Роксор Индастри»



Обвязочная голова H 6500



Обвязочная голова H 3000

ЗАО «Роксор Индастри» работает на рынке уже более 25 лет. Мы занимаем лидирующие позиции на рынке автоматизации упаковочных линий. Наши инженеры способны быстро и качественно осуществить монтаж, гарантийное, постгарантийное обслуживание и ремонт предлагаемого оборудования. На нашем складе всегда в наличии рекомендуемый производителем запас запчастей, позволяющий осуществить замену в кратчайшие сроки. Стандартная гарантия производителя может быть увеличена до 5 лет, если и в качестве поставщика расходных материалов клиент выбирает компанию «Роксор Индастри».

## Обновленная линейка оборудования Strapex:

- Вертикальная обвязка
- Горизонтальная обвязка
- Технология End-sealer
- Обвязочная голова H3000
- Полезные опции



Вертикальная  
обвязочная машина TSM  
с верхней запайкой



Вертикальная обвязочная машина VSM  
с боковым натяжением и запайкой

**Roxor Industry**  
Основана в 1992 году

**ЗАО «Роксор Индастри»**  
www.roxorindustry.ru  
E-mail: info@roxor.ru  
Тел.: +7 (812) 327-78-50  
Адрес: Россия, 199178,  
г. Санкт-Петербург,  
Малый пр. В.О, д. 30–32

# СОВРЕМЕННАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПО ДИАГНОСТИКЕ ЦЕМЕНТА И БЕТОНА: ЗАДАЧИ, ОБОРУДОВАНИЕ, ПОМЕЩЕНИЕ И МЕБЕЛЬ. ЕВРОПЕЙСКИЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ЦЕМЕНТА И БЕТОНА



**Болотских О.Н.,**  
доктор-инженер,  
доцент кафедры Технологии  
строительного производства  
и строительных  
материалов Харьковского  
национального университета  
городского хозяйства  
имени А.Н. Бекетова  
(г. Харьков, Украина)

## Строительная лаборатория и ее функции

**Строительная лаборатория** создается для осуществления производственного контроля качества физико-технических характеристик применяемых материалов. В составе строительной лаборатории могут быть посты, которые размещаются непосредственно на участках выполнения работ по бетонированию.

Функции строительной лаборатории:

- проверка соответствия стандартам, техническим условиям, паспортам и сертификатам поступающих на строительство материалов, конструкций и изделий;
- определение физико-химических характеристик строительных материалов;
- подбор составов бетонов, растворов;
- контроль дозировки и приготовления бетонов и растворов;
- отбор проб бетонных и растворных смесей, изготовление образцов и их испытание;
- определение прочности материалов в конструкциях неразрушающими методами;
- проверка и организация ремонта лабораторного оборудования и приборов и поддержание их в состоянии, обеспечивающем измерения с требуемой точностью и достоверностью.

Строительные лаборатории обязаны вести документацию по профилю выполняе-

мых работ, своевременно вносить предложения руководству об изменении режимов или приостановлении производства работ, осуществляемых с нарушением проектных и нормативных требований, снижающих прочность и устойчивость конструкций, а также давать указания персоналу по вопросам, находящимся в компетенции лабораторий.

## Задачи и оборудование лаборатории производителя бетона

Лаборатория производителя бетона отвечает за контроль всей продукции, которую выпускает предприятие. Для успешной работы она должна иметь квалифицированный персонал и современное лабораторное оборудование. В задачи начальника лаборатории, обладающего достаточным уровнем образования в области технологии бетона, входит не только выполнение испытаний бетона и его исходных компонентов, но и разработка новых рецептур бетона, проведение консультаций с клиентами при возникновении технических проблем, связанных с бетоном.

Главнейшими задачами бетонной лаборатории являются:

- разработка рецептуры бетона и испытание его новых сортов;
- разработка плана по надзору и контролю за бетоном и его исходными компонентами;
- контроль исходных компонентов для производства бетона (заполнителя, цемента, добавок и наполнителя);
- контроль продукции предприятия в соответствии с нормативной документацией за счет регулярного контроля бетонной смеси и испытаний затвердевшего бетона;
- анализ результатов испытаний и составление актов о соответствии бетона нормативным требованиям;
- обучение сотрудников предприятия;
- консультирование клиентов.

Строительная лаборатория производителя бетона должна быть оснащена оборудованием и приборами, в том числе:

- оборудованием и приборами для физико-механических испытаний;
- весовым оборудованием;
- оборудованием для испытания заполнителей для бетонов и растворов;
- приборами для испытания вяжущих материалов;
- приборами для измерения температуры и влажности.

Оборудование лаборатории по диагностике бетона зависит от размеров предприятия и от задач, поставленных перед ней.

Минимальное оборудование лаборатории:

- установка для рассева песка и щебня;
- оборудование для проведения контроля бетонной смеси;
- формы для изготовления образцов;
- пресс для определения прочности на сжатие;
- устройства (помещение или емкости) для хранения образцов в соответствии с нормами;
- оборудование, весы и бетономешалка для изготовления пробных замесов, необходимых для проведения испытаний.

Более крупные лаборатории имеют в своем распоряжении климатизированные помещения, приборы и оборудование для проведения других испытаний бетона и его исходных компонентов, особенно песка и щебня.

Специальные испытания, такие как воздействие солей при попеременном замораживании и оттаивании, а также сопротивление бетона хлоридам осуществляются, как правило, в специализированных лабораториях специалистами в этой области.

### Помещение лаборатории

Лаборатория производителя бетона является его визитной карточкой. Помещения лаборатории в зависимости от задач и оснащения могут иметь различные размеры. Как правило, она располагается на 1-м этаже административного корпуса.

Для заказчиков важно сразу посетить лабораторию, чтобы лично убедиться в том, что она оборудована на достаточно высоком уровне и руководство уделяет большое внимание обеспечению высокого качества производимого бетона.

При расположении лаборатории на 1-м этаже доставка проб материалов и оборудования не вызывает у персонала сложностей и больших физических усилий. Уже в стадии проектирования необходимо обязательно учитывать, что часть лабораторного оборудования имеет существенную массу и размеры и для его

доставки и установки требуется специальная грузоподъемная техника, к примеру, вилочный подъемник. Поэтому лаборатория производителя бетона должна иметь широкие двери или ворота для установки, модернизации и последующей замены крупного и тяжеловесного лабораторного оборудования. Некоторое оборудование (например, мощные прессы) требует специальных фундаментов, которые выполняются, как правило, из монолитного бетона. Поэтому при закупке лабораторного оборудования с производителем необходимо обязательно обсудить этот вопрос и уже на стадии подготовки устройства лаборатории выполнить необходимые подготовительные работы.

Окончательный ремонт в помещениях необходимо производить только тогда, когда смонтировано наиболее тяжелое оборудование, к примеру, прессы. Многие производители лабораторного оборудования еще на стадии его закупки дают необходимые советы и рекомендации относительно того, каким образом рационально разместить оборудование в помещении лаборатории.

Большую роль в лаборатории играет рациональное и достаточное освещение, а также поддержание его уровня в течение светового дня. Наиболее целесообразным является устройство в лаборатории максимального количества окон, чтобы наиболее рационально использовать дневное освещение. В качестве положительного примера в этом плане можно привести лабораторию Ассоциации производителей цемента в Дюссельдорфе, имеющую большое количество металлопластиковых окон, что обеспечивает в течение дня достаточный уровень освещения для проведения испытаний и значительно экономит расходы на электроэнергию (рис. 1).



Рис. 1. За счет большого числа и размера окон обеспечивается достаточный уровень освещения в лаборатории

Немаловажное значение в лаборатории по диагностике бетона имеет возможность механического перемещения свежезамешанного бетона или проб по всему помещению для различных испытаний, так как они имеют значительную массу и размеры. Для этого емкости с бетоном следует располагать на деревянном поддоне, а для их перемещения использовать специальную транспортную гидравлическую тележку. С целью свободного перемещения тележки по всей лаборатории пол в ней должен обладать необходимой ровностью и прочностью и не иметь различных возможных «преград». Это необходимо предусмотреть еще на стадии проектирования лаборатории.

### Лабораторное оборудование

Производство современного лабораторного оборудования в последние годы сделало большой шаг в плане рационализации, технологии сборки, эргономики и простоты обслуживания.

При подборе лабораторного оборудования необходимо, с одной стороны, обеспечить безопасность его обслуживания, должное качество и уровень исследований, а с другой – затраты на проведение диагностики материалов должны оставаться в определенных рамках. Один из проверенных путей решения данного вопроса – приобретение предприятиями современного диагностического оборудования и тщательный подбор квалифицированных сотрудников, способных на должном уровне осуществлять обследования и производить необходимое техническое обслуживание используемого в лаборатории оборудования.

Залогом его долговременного использования является своевременная и качественная очистка от остатков раствора и бетона после

проведения испытаний. Первоочередную роль в долговечности оборудования играет качество его изготовления. В плане высокой надежности и долговечности лабораторного оборудования хорошо зарекомендовали себя немецкие производители, обеспечивающие также его ремонт и техническое обслуживание не только в течение гарантийного срока, но и на протяжении всего периода эксплуатации (рис. 2).

Большим толчком для развития и модернизации приборов и оборудования для диагностики строительных материалов и конструкций в последние годы в Европе явилось введение единых Европейских Норм (EN). В связи с этим изменились многие методы обследований, а существующие национальные нормы утратили свою силу.

### Системные лаборатории и лабораторная мебель

Вначале необходимо отметить, что все современные лаборатории по диагностике бетона при закупке оборудования одновременно оснащаются и специальной мебелью, в первую очередь столами. Для того чтобы правильно понять и представить этот процесс, можно провести параллель с оборудованием кухни нашей квартиры, когда заказывая мебель, мы всегда заботимся об установке и расположении (зачастую встраиваемых) бытовых приборов, вытяжек, мойки и т.д.

Такую современную и рациональную компоновку приборов и лабораторной мебели называют системными лабораториями. При этом учитывается необходимая высота расположения уровней различного оборудования, связанная с эргономикой, технология выполнения лабораторных исследований, например, взвешивание, смешивание раствора, хранение проб, очистка форм и т.д. Отдельные элементы оборудования и мебели образуют блоки, которые могут по-разному между собой составляться в зависимости от размеров помещения, организации лабораторных работ и числа сотрудников, выполняющих исследования.

Лабораторная мебель изготавливается, как правило, из высококачественной нержавеющей стали. В этом случае ее уборка и уход за ней не представляют никаких трудностей. Ширина отдельных элементов лабораторной мебели всегда кратна 300 мм. Это означает, что отдельные секции лабораторной мебели могут иметь ширину 600, 900, 1200 и 1500 мм. Столешницы лабораторных столов выполняются традиционно из ДСП и покрываются листовой хромоникелевой сталью толщиной 1,5–2,0 мм.



Рис. 2. Осуществление послегарантийного обслуживания и ремонта приборов определения воздухововлечения бетонной смеси на предприятии «TESTING Bluhm & Feuerherdt GmbH» в Берлине

Глубина лабораторной мебели обычно составляет 800 мм, хотя при индивидуальных заказах она может изменяться. Рабочая высота поверхностей может существенно отличаться и выбирается, как правило, из следующих принятых производителями лабораторной мебели высот – 750 мм, 800 мм, 850 мм или 900 мм.

В качестве примера можно привести разработку фирмы «TESTING» в этой области (рис. 3) – специальный шкаф для выдержки образцов, изготовленный из высококачественной нержавеющей стали, внутри которого



Рис. 3. Шкаф для выдержки образцов раствора в формах, выполненный в соответствии с EN 196 компанией «TESTING Bluhm&Feuerherdt GmbH»

поддерживается температура 20 °С и относительная влажность воздуха 96%. Этот шкаф представляет собой отдельную составную часть лабораторного оборудования и может всегда интегрироваться в системную лабораторию. Внутри шкафа на легко выдвигающихся телескопических полках хранятся 3-секционные формы, заполненные образцами материалов. В зависимости от объемов работ по обследованию образцов размеры такого шкафа могут варьироваться.

### Контроль цемента и бетона по Еuronormам

В настоящее время в Европе к лидирующим производителям современного лабораторного оборудования для диагностики цемента и бетона относят некоторых немецких, швейцарских и итальянских производителей. Из них следует выделить крупного немецкого производителя и поставщика лабораторного оборудования компанию «TESTING Bluhm&Feuerherdt GmbH» из Берлина. Эта компания активно работает в России, Украине, Беларуси и Казахстане и имеет в данных регионах опытных и надежных поставщиков. Более того «TESTING» занимается производством специальной лабораторной мебели из высококачественной нержавеющей стали и поставляет ее в комплекте с диагностическим оборудованием.



Рис. 4. Монография «Европейские методы физико-механических испытаний цемента» (2-е издание 2015 г.)



Рис. 5. Монография «Европейские методы физико-механических испытаний бетона» (2-е издание 2017 г.)

В кооперации с «TESTING» в Харьковском Университете городского хозяйства на кафедре Технологии строительного производства и строительных материалов изданы две монографии о методах контроля цемента и бетона по еuronormам: «Европейские методы физико-механических испытаний цемента» (рис. 4) и «Европейские методы физико-механических испытаний бетона» (рис. 5).

Заказать эти книги можно у автора по адресу e-mail: [bolotskikh@ukr.net](mailto:bolotskikh@ukr.net)

Оборудованная лаборатория является визитной карточкой любого современного предприятия. Сразу после установки нового лабораторного оборудования сложно вести речь об экономическом эффекте. Но модернизация лабораторий контроля качества цемента и бетона за счет установки современного европейского лабораторного оборудования сегодняшнего и завтрашнего дней – принципиально новое решение для наших заводских лабораторий. Тем более, что высокое качество цемента и бетона можно обеспечить только путем его регулярного контроля на должном уровне. Не зря старая русская пословица гласит: «доверяй, но проверяй!».

Зная европейские методы испытаний цемента и бетона, а также имея современное лабораторное оборудование и квалифицированный и заинтересованный персонал, можно уже сейчас на наших предприятиях обеспечить высокое качество цемента и бетона в соответствии с европейскими нормами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Болотских Олег «Европейские методы физико-механических испытаний цемента» / Монография. 2-е издание. – Харьков: ЮНИСОФТ, 2015. – 88 с.
2. Болотских Олег, Ганс-Генрих Ройтер, Уве Петер Циммер «Европейские методы физико-механических испытаний бетона» / Монография. 2-е издание. – Харьков: ЮНИСОФТ, 2017. – 200 с.

Научное издание

# ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

Материалы  
10-й Международной научно-практической конференции  
Минск, Могилев  
29–31 мая 2018 г.

Ответственный за выпуск *А.Н. Вараксин*  
Редактор *В.Г. Морозова*  
Компьютерный дизайн и верстка *Е.Ю. Гурбо*

Подписано в печать 21.05.2018 г. Формат 60x84<sup>1/8</sup>.  
Бумага мелованная. Гарнитура HeliosC. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 17,20. Уч.-изд. л. 18,50. Тираж 180 экз. Заказ 3336.

Издатель:  
индивидуальный предприниматель А. Н. Вараксин.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/99 от 02.12.2013.

Полиграфическое исполнение:  
Издательско-полиграфическое унитарное предприятие «Донарит».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 2/108 от 07.04.2014.  
Ул. Октябрьская, д. 25, оф. 2, 220030 г. Минск.  
Тел. +375 17 389 73 00  
[www.donarit.com](http://www.donarit.com)



# РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ МАСЛА

## «МОНОЛИТ» «МОНОЛИТ-150»

- Разделительные масла «Монолит» и «Монолит-150» производства ООО «Октопус-ПВМ» разработаны специально для смазывания форм при производстве ячеистого бетона, пено- и газобетона.
- Производятся с использованием нефтяных масел селективной очистки с добавлением функционального пакета присадок.

### ООО «Октопус-ПВМ»

211396, Республика Беларусь,  
Витебская обл., г.п. Лиозно,  
ул. Черницкая, 1а  
Тел./факс +375 216 540 454,  
тел. моб. +375 29 716 00 87  
E-mail: octopus\_pvm@tut.by  
www.bel-oil.by

**По вопросу приобретения  
и использования  
разделительных смазок  
«Монолит» и «Монолит-150»  
обращайтесь  
в ООО «Октопус-ПВМ».**

**Для проведения лабораторных  
и производственных  
испытаний образцы масел  
предоставляем БЕСПЛАТНО.**

- Масла безопасны для здоровья человека и окружающей среды (по ГОСТ 12.1.007-76 относятся к 4-ому классу опасности) «Монолит» и «Монолит-150» успешно прошли испытания и используются на крупнейших газосиликатных заводах Республики Беларусь и РФ.
- Оптимальная вязкость масел (135–150 мм<sup>2</sup>/с при 40 °С) позволяет добиться минимального расхода, а входящий в состав пакет присадок обеспечивает отличную адгезию к бортам формы, позволяя легко и качественно извлекать массив сырец из формы.
- Разделительное масло «Монолит» отлично подходит для автоматических линий типа Wehrhahn, WKB Systems, а также при ручном нанесении валиком либо с помощью распылителя.
- Масло «Монолит-150» преимущественно используется на автоматических линиях типа Masa Henke, HESS и др. при централизованной подаче разделительного масла через форсунки.

Характеристики	Смазка разделительная «Монолит»	Смазка разделительная «Монолит-150»
*Вязкость кинематическая при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	135–150	135–150
*Плотность при 20 °С кг/м <sup>3</sup>	950	905
*Температура вспышки, °С	230	250

\*Характеристики, приведенные в таблице, носят информационный характер.

### ФАСОВКА:

- металлические бочки 216,5 л
- ИВС контейнер 1000 л
- налив

Schlenk Metallic Pigments GmbH · Barnsdorfer Hauptstr. 5 · D-91154 Roth-Germany

Application services / english languages: Dr. Gerhard Spicker: +49 9171 808 350

Application services / russian languages: Irina Safonova: +3712 0005 721

Sales department / russian languages: Andreas Bergen: +49 9171 808 262

[www.schlenk.com](http://www.schlenk.com)

SCHLENK 

# Алюминиевые хлопья

для автоклавного ячеистого  
бетона и других сфер  
технического применения

