

УДК 691.327.33; 621.31:69

**ЭКОНОМИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ**

Д. Г. Рудченко

Проведено аналіз технологічних рішень і розроблені рекомендації, спрямовані на економію енергетичних ресурсів в технології виробництва ніздрюватого бетону автоклавного твердіння. Підтверджено, що додавання гіпсового каменю дозволяє значно підвищити значення коефіцієнта конструктивної якості матеріалу.

Проведен анализ технологических решений и разработаны рекомендации, направленные на экономию энергетических ресурсов в технологии производства ячеистого бетона автоклавного твердения. Подтверждено, что добавление гипсового камня позволяет значительно повысить значение коэффициента конструктивного качества материала.

The paper contains an analysis of technological solutions and developed recommendations aimed at saving energy in production technology autoclaved cellular concrete. Confirmed that the addition of gypsum can significantly increase the value of the coefficient as a constructive material.

Введение. Цены на природный газ стремительно растут. Еще в 2004 году цена импортированного российского газа составляла 50 дол. США за 1 тыс. м³, но уже в 2008 году увеличилась до 179,5 и на начало 2009 года увеличилась до 275 дол. США [1, 2].

Увеличение цен на импортные энергоресурсы приводит к вынужденному увеличению тарифов. Тарифы на электроэнергию с 1 мая 2006 года выросли на 25 % и еще на 25 % с первого сентября. С 1 февраля 2011 года Национальная комиссия регулирования электроэнергетики Украины повысила на 30 % тарифы для населения, потребляющего свыше 150 кВт·ч в месяц, а с 1 апреля 2011 года тарифы на электроэнергию для населения очередной раз были повышены на 15 %.

Экономия энергетических ресурсов должна реализовываться на всех стадиях начиная от их добычи и заканчивая ее использованием. Особенно важно для Украины добиться экономии энергетических ресурсов в жилищно-коммунальном комплексе страны, который потребляет до 30 % всех энергоресурсов страны.

Ячеистый бетон на сегодня является наиболее востребованным материалом на строительном рынке. В нем сочетаются высокие теплоизоляционные и конструкционные свойства. Энергоемкость производства ячеистого бетона значительно ниже традиционных стеновых материалов (кирпича глиняного и силикатного, керамических блоков, керамзитобетона). При всех достоинствах ячеистого бетона, учитывая доступность сырьевых материалов (песок, цемент, известь) гидротермальная обработка изделий при температуре до 200 °С и избыточном давлении пара до 1,2 МПа является высокоэнергоемким технологическим переделом и потребует поиска путей снижения расхода пара на стадии автоклавирования изделий.

Цель работы. Анализ технологических решений и разработка рекомендаций, направленных на экономию энергетических ресурсов в технологии производства ячеистого бетона автоклавного твердения.

Результаты исследований. Развитие производства автоклавного ячеистого бетона в Украине, как наиболее распространенного материала в Европе, имеет ключевое значение для обеспечения устойчивости и эффективности функционирования жилищно-строительного комплекса страны. В соответствии с существующими нормами термического сопротивления ячеистый бетон является единственным материалом, стены из которого не требуют утепления.

В 1958 году в бывшем СССР производилось лишь 100 тыс. м³ ячеистых бетонов. Становление отрасли и масштабное производство ячеистых бетонов автоклавного твердения началось с приобретения 10 заводов производственной мощностью 198 тыс. м³ ячеистого бетона в год польской поставки в начале 60-х годов прошлого столетия.

В 1991 году в СССР уже работало 92 завода. Украина имела производственную мощность около 1,2 млн. м³ изделий из ячеистого бетона широкой номенклатуры, предприятия

прибалтійських республік виробляли 0,8 млн. м³, Белоруссія і РФ виготовляла порядку 1,7 млн. м³ ячеїстого бетону в рік, в Казахстані виробилось більше 0,6 млн. м³ ячеїстого бетону. Елементарні розрахунки показують, що в часи існування СРСР в країні виробилось декілька більше 20 м³ ячеїстого бетону в рік на 1 тис. людина, що було в декілька разів менше ніж в європейських країнах (рис. 1).

Ячеїстий бетон, що вироблявся в країні, мав низький коефіцієнт конструктивного якості, порівняно з зарубіжними аналогами. Для порівняння, якщо в 80-і роки середня щільність теплоізоляційного газобетону по галузі складала D400 кг/м³ з міцністю при стисненні 1,1 МПа, то сьогодні, при щільності газобетону 300 кг/м³ його міцність на стиснення в кращих підприємствах країни збільшена до 1,8-2 МПа [3].

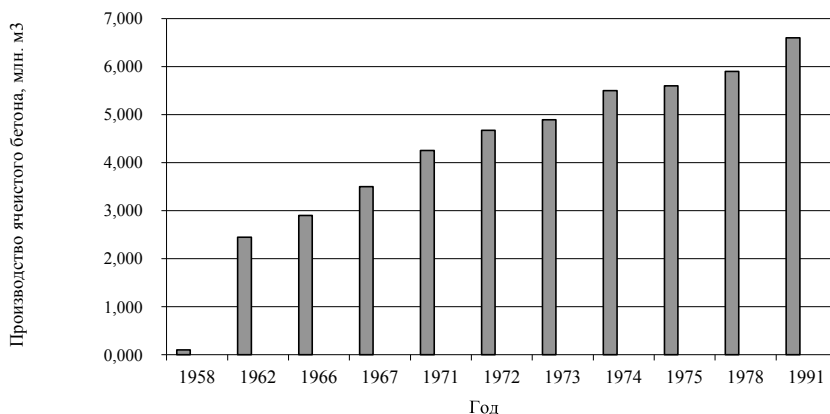


Рис. 1. Динаміка виробництва ячеїстого бетону в колишньому СРСР

Після припинення падіння економіки, в тому числі виробництва продукції промисловості будівельних матеріалів почалося її відродження. Бесспорним лідером по відносним об'ємам виробництва ячеїстого бетону на постсоветському просторі є Республіка Білорусія, яка в 2010 році виробляла 315 м³ ячеїстого бетону на 1 тис. осіб, Росія – 104, Україна – 36 м³. Навіть, незважаючи на суттєвий приріст об'ємів виробництва ячеїстого бетону в РФ і Україні, в тому ж 2010 році Білорусія експортувала 610,73 тис. м³ ячеїстого бетону – декілька разів менше ніж виробила Україна в 2009 році [4, 5]. В 2010 році виготовлено: в Україні – більше 1,4 млн. м³; Білорусії – 2,8; РФ – близько 8; Польщі – більше 4 млн. м³ ячеїстого бетону, хоча ця країна має виробничі потужності 7,5 млн. м³, які при необхідності можуть забезпечити потреби внутрішнього або зовнішнього ринку.

На сучасних заводах по виробництву ячеїстого бетону нового покоління повністю автоматизований процес підготовки і дозування сировинних матеріалів. Це забезпечує високу однорідність матеріалу, як по щільності, так і по міцнісним характеристикам. Різальне обладнання дозволяє випускати вироби з точністю до ± 1 мм по висоті і $\pm 1,5$ мм ширині виробів.

Висока точність розмірів дає можливість замість звичайних кладочних розчинів, що використовуються «мостики холоду» застосовувати кладку на клею. Для сучасних заводів характерна широка номенклатура випускаємих виробів і, що особливо важливо – освоєно випуск виробів з D300-400 кг/м³ і класом по міцності при стисненні не нижче В1,5 (середня міцність не менше 2,2 МПа/см²). Такі вироби виконують функції не тільки теплоізоляції, але і стенового конструктивного матеріалу, що сприймає навантаження. Враховуючи те, що для блоків D400 кг/м³ розрахунковий коефіцієнт теплопровідності при рівноважній вологості стіни до 4 % становить всього $\lambda=0,113$ Вт/м·°С, такі вироби в зовнішніх стінах не потребують додаткового утеплення, що дає величезний народногосподарський ефект.

Україна прийняла новий національний стандарт – ДСТУ Б В.2.7-45:2010 «Будівельні матеріали. Бетони ячеїсті. Загальні технічні умови» в якому запропоновано ряд новацій [6]:

- предусмотрены марки теплоизоляционного бетона со средней плотностью D200 и D250, марки теплоизоляционного бетона D400 и D500 изъяты и установлены марки конструкционно-теплоизоляционного бетона средней плотностью D300 и D350;
 - конструкционно-теплоизоляционный бетон дополнен маркой со средней плотности D400;
 - марка бетона D1000 перенесена из конструкционно-теплоизоляционного в конструкционный бетон, а марка конструкционного бетона со средней плотностью D1200 изъята;
 - приведены допустимые минимальные значения прочности бетона при сжатии с коэффициентом вариации 18 % для всех классов бетона по прочности;
 - значение отпускной влажности бетона изделий установлены не только в зависимости от вида применяемого кремнеземистого компонента но и от марки бетона по средней плотности. При этом максимальное содержание воды в бетоне марок при плотности D600 и ниже не должно превышать 150 кг/м³.
- В зависимости от назначения ячеистый бетон подразделяется на:
- теплоизоляционный (класс по прочности на сжатие не ниже B0,35, марки по средней плотности – не выше D400);
 - конструкционно-теплоизоляционный (класс по прочности на сжатие не ниже B1,5, марки по средней плотности – не выше D700);
 - конструкционный (класса по прочности на сжатие не ниже B3,5, марки по средней плотности – D700 и выше).

Украинский ДСТУ Б В.2.7-45:2010 к теплоизоляционным бетонам относит бетон плотностью D200 – D350 с классом прочности при сжатии B0,35 – B1 (0,5-1,45 МПа), к конструкционно-теплоизоляционному - бетон плотностью D400 - D700 и классом прочности при сжатии B1 до B5 (1,45-7,23 МПа), к конструкционному бетону – бетоны плотностью D1000-D1100 и с классом прочности B7,5-B15 (1,45-21,7 МПа).

В течение 30-40 последних лет в технологии изготовления ячеистого бетона автоклавного твердения для всех постсоветских стран основным нормативным документом стал сначала СН 277-70, а затем СН 277-80 [7]. Этот документ и на сегодня есть действующим на постсоветском пространстве за исключением Белоруссии, которая отменила действие его действие на территории страны и ввела в действие Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-5.03-137-2009 (02250) – «Изделия из ячеистого бетона. Правила изготовления».

Технологическая последовательность реализации режима автоклавной обработки согласно СН 277-80 и Белорусского ТКП 45-5.03-137-2009 существенно отличаются и приведена на рис. 2.

В соответствии с СН 277-80 вакуумирование автоклава предусмотрено по завершению автоклавной обработки ячеистого бетона. При снижении давления в автоклаве влага в порах материала оказывается в перегретом состоянии по отношению к среде в автоклаве, вследствие этого температурные перепады в изделии либо отсутствуют, либо совершенно незначительны (8-10°С между центром и поверхностью изделия) Скорость охлаждения изделий на этой стадии определяется скоростью снижения давления в автоклаве.

Поверхность изделий при открытой крышке промышленного автоклава охлаждается весьма медленно со скоростью 7-10 град/час, а температура паровоздушной смеси в автоклаве снижается несколько быстрее – 15-20 град/час. Скорость охлаждения изделий после сброса давления резко повышается при вакуумировании пространства автоклава и определяется темпом разряжения в последнем. Температурные перепады между центром и поверхностью изделий являются безопасными [8]. Таким образом, СН 277-80 предусматривает вакуумирование для интенсификации процесса охлаждения изделий в автоклаве после сброса в нем давления.

Согласно рекламным проспектам ведущих фирм-производителей оборудования для производства ячеистого бетона «Masa-Henke Maschinenfabrik GmbH», «W+K Industry GmbH», «HESS AAC Systems B.V.», «WEHRHAHN», и Белорусскому Техническому кодексу установившейся практики ТКП 45-5.03-137-2009 (02250) – «Изделия из ячеистого бетона. Правила изготовления» вакуумирование автоклава перед подъемом давления является обязательной составляющей технологического процесса гидротермальной обработки ячеистых бетонов.



Рис. 2. Сравнительная схема режимов автоклавной обработки

Из опыта новых отечественных предприятий, построенных на оборудовании ведущих европейских производителей и опыта зарубежных предприятий следует, что перед поднятием давления в автоклаве необходим предварительный прогрев ячеистобетонных изделий путем последующей продувки в автоклаве перегретым паром и его вакуумированием.

Наиболее предпочтительным является продувка автоклава при открытой задвижке на сброс пара, т.е. в автоклаве не создается давление, воздух вытесняется паром и повышается температура. Следующий этап – это вакуумирование. За счет снижения давления в автоклаве вода, находящаяся в материале, превращается в пар, который продвигается от внутренней области изделия в сторону меньшего давления в массиве изделия (наружу), что приводит к дальнейшему удалению воздуха из материала. При этом сам материал разогревается, температура по толщине массива выравнивается.

Уровень глубины необходимого вакуума зависит от конечной температуры массива и, как правило, составляет 0,5 бар (0,05 МПа). В производственных условиях ООО «Аэрок» максимальное разрежение достигается через 25-30 минут, и далее поддерживается в течение 15-25 минут. Вакуумирование производится при горячем автоклаве (температура стенки автоклава должна быть не менее 80 °С). Этот показатель температуры, через большую металлоемкость и инерционность, сохраняется в условиях постоянного производства автоклавного хозяйства. В противном случае перед началом процесса автоклавной обработки необходимо предварительно разогреть без продукции. Причинами плохого вакуумирования могут быть неисправности, связанные с вакуумной задвижкой, системой автоматического управления, а также неудовлетворительное функционирование вакуумного насоса [9].

Внедрение в заводских условиях процесса вакуумирования на начальной стадии автоклавирования ячеистого бетона – сырца (для прогрева сырца и удаления воздуха) обеспечивает ускоренный прогрев изделий до заданной температуры и есть дополнительным резервом экономии энергетических ресурсов при автоклавной обработке ячеистого бетона.

По мере снижения плотности ячеистого бетона повышается значение коэффициента паропроницаемости. Следовательно, добившись снижения плотности ячеистого бетона, представляется возможным сократить продолжительность изотермической выдержки изделий за счет повышения паропроницаемости бетона, интенсивного прогрева изделий и использования более форсированных режимов сброса давления в автоклаве. В конечном итоге это обеспечит сокращение продолжительности автоклавной обработки и приведет к увеличению коэффициента оборачиваемости автоклавов.

Совершенствование технологического процесса автоклавной обработки ячеистых бетонов обеспечивает синтез необходимых новообразований, исключает дефекты макроструктуры (трещины, сколы, локальная непропарка), сокращает продолжительность цикла режима

автоклавирования изделий, увеличивает производственную мощность предприятия. При сбросе давления в автоклаве на стадии подъема давления или резком сбросе давления в конце режима автоклавирования особенно при высокой плотности бетона (низкой паропроницаемости) приводит к образованию дефектов вызванных эффектом «кессонной болезни» (рис. 3).

Образующийся в процессе автоклавной обработки горячий конденсат подается сначала для охлаждения в теплообменник. Горячая вода используется для отопления помещений или подогрева воды в технологических целях, а остальная часть конденсата – в качестве воды затворения при приготовлении ячеистобетонной смеси. Утилизация тепловой энергии конденсата позволяет экономить до 30 % тепловой энергии в производственных условиях ООО «Аэрок».

Образующийся в процессе автоклавной обработки горячий конденсат подается сначала для охлаждения в теплообменник. Горячая вода используется для отопления помещений или подогрева воды в технологических целях, а остальная часть конденсата – в качестве воды затворения при приготовлении ячеистобетонной смеси. Утилизация тепловой энергии конденсата позволяет экономить до 30 % тепловой энергии в производственных условиях ООО «Аэрок».

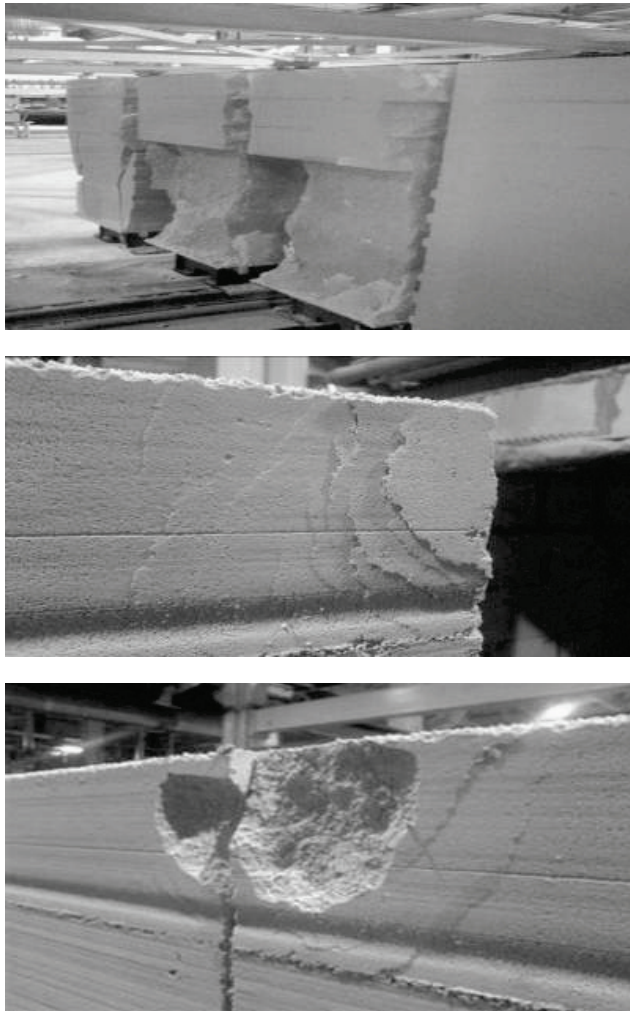


Рис. 3. Характерные виды дефектов структуры ячеистого бетона, связанные с нарушением режима автоклавной обработки

Образующийся в процессе автоклавной обработки горячий конденсат подается сначала для охлаждения в теплообменник. Горячая вода используется для отопления помещений или подогрева воды в технологических целях, а остальная часть конденсата – в качестве воды затворения при приготовлении ячеистобетонной смеси. Утилизация тепловой энергии конденсата позволяет экономить до 30 % тепловой энергии в производственных условиях ООО «Аэрок».

Для поддержания температуры ячеистобетонного сырца перед загрузкой в автоклав не ниже 80 °С на некоторых предприятиях используются специальные камеры с подогреваемым полом и закрытыми шторами (входом и выходом) или рекуперационные туннели, в которых выдерживаются после автоклавной обработки готовые изделия для снятия термических и влажностных напряжений. Выделяемое при остывании изделий тепло вторично используется для нагрева и поддержания на указанном уровне температуры сырца ячеистого бетона перед автоклавной обработкой.

Важную роль для экономии пара при автоклавной обработке выполняет увеличение коэффициента заполнения автоклава и снижение теплотеря за счет улучшения качества его тепловой изоляции. Весьма важно предусмотреть перепуск отработанного пара из автоклава в автоклав.

Экономия и рациональное использование материальных ресурсов может быть достигнута за счет использования побочных продуктов производства и различных добавок полифункционального действия. В СН 277-80 гипсовая добавка представлена лишь, как реологическая добавка, используемая на стадии формирования изделий. По сути, гипсовый камень в составе композиционного вяжущего для производства ячеистого бетона служит полифункциональным компонентом вяжущего, действия которого проявляются на стадии доавтоклавной выдержки и в условиях автоклавной обработки ячеистого бетона, что положительно отражается на его свойствах (рис. 4) [10, 11].



Рис. 4. Влияние гипса на технологические параметры производства и свойства автоклавного газобетона

В промышленных условиях ООО «Аэрок г. Обухов» и «Аэрок г. Березань» внедрена добавка двухводного гипса, которая обеспечивает выпуск изделий с D300-400 кг/м³ и классом прочности при сжатии не ниже В1,5 (средняя прочность при сжатии не менее 2,2 МПа/см²).

Выводы

- Автоклавная обработка является самым энергоемким технологическим процессом производства ячеистого бетона. Производственный опыт работы ООО «Аэрок» позволяет экономить до 30 % тепловой энергии за счет переброса пара в автоклавы, которые находятся на подъеме, утилизации тепловой энергии конденсата. Вакуумирование автоклавов на начальной стадии режима автоклавной обработки интенсифицирует прогрев изделий, а после сброса давления – ускоряет охлаждение изделий и приводит к снижению послеавтоклавной влажности изделий.

- Производство стеновых блоков плотностью 300-400 кг/м³ вместо 500-600 кг/м³ приводит к снижению паропроницаемости ячеистого бетона и создает благоприятные условия для сокращения продолжительности режимов автоклавной обработки изделий и экономии энергетических ресурсов. Повышение коэффициента конструктивного качества ячеистого бетона на ООО «Аэрок» позволяет получить дополнительный экономический эффект за счет сокращения расхода сырьевых компонентов ячеистого бетона.
- Существующий опыт вакуумирования автоклавов на начальной стадии режима автоклавирования на новых предприятиях страны положительно отражается на качестве изделий и рациональном использовании пара, но вступает в противоречие с требованиями действующего СН 277-80. В этой связи необходимы ограничения действия СН 277-80 на территории страны либо разработка и принятие национального регламентирующего документа по аналогии с республикой Беларусь.
- Добавка гипсового камня выполняет функцию полифункционального компонента в технологии производства ячеистого бетона автоклавного твердения и позволяет значительно повысить значение коэффициента конструктивного качества материала.

Использованная литература

1. Офіційний сайт Державного комітету статистики України. Режим доступу: www.ukrstat.gov.ua.
2. Офіційний сайт Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів (НАЕР). Режим доступу: www.naer.com.ua.
3. Рудченко Д. Г. О повышении коэффициента конструктивного качества газобетона автоклавного твердения / Д. Г. Рудченко // Журнал «Строительные материалы и изделия». – 2010. – № 4 (69). – С. 13-16.
4. Сахаров Г. П. Ячеистые бетоны в посткризисный период / Г. П. Сахаров // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. Наук. техн. збірн. Вип. 40. – 2011 – С. 161-165.
5. Сажнев Н. П. Производство ячеистобетонных изделий в Беларуси на современном этапе / Н. П. Сажнев, С. Б. Беланович, Д. П. Бухта и др. // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. Наук. техн. збірн. – Вип. 40. – 2011. – С.147-160.
6. Червяков Ю. Н. Страшук С. В. Нормативная база на мелкоштучные ячеистобетонные изделия/ Збірн. «Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка». – Київ. – 2011. – 340. – С. 205-206.
7. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277-80. – Государственный комитет СССР по делам строительства Госстроя СССР. М. 1980. 44с.
8. Белкин Я. М. Исследование температурных условий твердения силикатного бетона при автоклавной обработке известково-песчаных изделий / Я. М. Белкин, З. М. Хаимский// Сборн. трудов № 20 РосНИИИСМ. М., 1961. – С. 62-69.
9. Рудченко Д. Г. Ячеистый бетон автоклавного твердения «Аэрок». Некоторые пути повышения качества, энергосбережения и экономии сырьевых материалов / Д. Г. Рудченко // Сборн. науч. труд. IV-го Международного научн. практ. семинара. Мисхор. 2009. – С. 50-61.
10. Рудченко Д. Г. О повышении коэффициента конструктивного качества газобетона автоклавного твердения / Д. Г. Рудченко // Строительные материалы и изделия. – 2011. – № 4. – С. 13-16.
11. Захарченко П. В. Конструкционно-теплоизоляционный ячеистый бетон автоклавного твердения плотностью 300 кг/м³ / П. В. Захарченко, Н. А. Дюжилова, Д. Г. Рудченко // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. Наук. техн. збірн. – Вип. 40. – 2011. – С. 85-93.

Рудченко Дмитрій Геннадієвич – генеральний директор ООО «Аэрок».