

ВЛИЯНИЕ АВТОКЛАВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Введение. Экономия топливно-энергетических ресурсов для Украины приобретает все возрастающее значение по причине чрезмерных потерь, энергетической зависимости от одного импортера и постоянных тенденций роста цен на импортированные энергоносители.

Интегральным показателем любого производства является его энергоемкость – суммарные затраты тепловой и электрической энергии на получение единицы продукции. Эти затраты существенно влияют на формирование цены на продукцию. Из опыта развитых стран видно, что решение жилищной проблемы в Украине во многом предопределяется увеличением объемов производства ячеистого бетона, как основного стенового материала, в котором сочетаются теплоизоляционные и конструкционные свойства [1–3].

Автоклавная обработка – завершающая и самая важная часть технологического процесса изготовления автоклавных силикатных материалов. При этом расход тепловой энергии составляет около 50–60% общего расхода. В этой связи вопросы снижения расхода тепловой энергии и сокращения продолжительности автоклавной обработки приобретают особую актуальность. Кроме того, именно на стадии подъема и сброса давления могут происходить деструктивные процессы образования микро и макротрещин в ячеистом бетоне.

Цель работы. Исследование состояния вопроса и разработка рекомендаций снижения энергоемкости производства ячеистого бетона на стадии его гидротермальной обработки.

Результаты исследования. Сокращение продолжительности цикла автоклавной обработки обеспечивает увеличение производственной мощности предприятия. Совершенствование технологического цикла автоклавирования ячеистых бетонов преследует несколько важных задач: синтез необходимых новообразований; исключение дефектов макроструктуры – трещин, сколов, наличие мест непропарки; экономия энергии; повышение производительности автоклавного производства.

Режимы пропарки должны быть оптимальны по продолжительности с возможностью перепуска пара из одного автоклава в другой и исключением выброса пара в «свечку». Оптимизация автоклавной обработки подразумевает собой максимальное использование отработанного пара и конденсата для технологических потребностей. Продолжительность режима гидротермальной обработки ячеистого бетона определяет оборачиваемость автоклавов на предприятии, что, по сути, дает не только оценку энергоемкости производства, но и есть критерием оценки использования его производственной мощности. В лучшие постсоветские времена развития отрасли производства ячеистого бетона длительность автоклавной обработки теплоизоляционных газосиликатных изделий колебалась от 8 до 15 ч, газобетонных – от 6 до 17 ч. Для ар-

мированных стеновых панелей продолжительность автоклавирования увеличивалась до 17 ч. Средняя оборачиваемость автоклавов на заводах составляла 1,4 при изготовлении газобетона, 1,9 – газосиликата и 1,3 – пенобетона. Расход пара на автоклавную обработку ячеистых бетонов и другие технологические цели на отдельных предприятиях отрасли колебался от минимальных 206–256 кг/м³ до максимального уровня 890 кг/м³. Проведенный К.Э. Горяиновым анализ удельного расхода пара на ряде заводов показал, что фактический удельный расход пара на технологические цели превышает на 66–320% расчетный удельный расход на автоклавную обработку. При этом учитывался расход пара на подогрев полов формовочного отделения [4].

Следует заметить, что в условиях рыночной экономики и приватизации предприятий обобщение и доступ к такого рода информации есть проблематичным, поскольку сами производители ячеистого бетона относят ее к категории «для служебного пользования» или «коммерческая тайна», но весьма заинтересованы в получении подобной информации о состоянии дел у конкурентов. Поскольку в обобщении подобной информации заинтересованы производители ячеистого бетона, то весьма очевидно, что подобные аналитические обзоры должны выполняться под эгидой Ассоциации производителей ячеистого бетона Украины и служить путеводителем в части совершенствования технологии и развития здоровой конкуренции. Даже при наличии однотипных производств творческая инженерная мысль специалистов отдельных предприятий может обеспечить качественный скачок в решении той или иной проблемы. Примером может служить опыт работы 10 однотипных заводов польской поставки мощностью 189 тыс. м³/год [5]. Через 15 лет их работы 6 из них перекрыли проектную мощность. На Ступинском, Ижевском и Темиртауском использовании мощности соответственно составило 152,4%, 138% и 131,7%, а на Ворошиловоградском (Луганском) – 182%, хотя это предприятие производило главным образом теплоизоляцию.

В условиях изобилия и дешевизны энергоносителей в бывшем СССР допустимая температура наружной поверхности автоклава (40...45°C) диктовалась требованиями пожарной безопасности. Важную роль для экономии пара при автоклавной обработке выполняет снижение теплопотерь на нагрев автоклава за счет улучшения качества его тепловой изоляции. На современных предприятиях за рубежом, в целях снижения теплопотерь, эта величина ограничена 2°C выше температуры окружающего воздуха. Сами автоклавы могут находиться под открытым небом. Качественная теплоизоляция поверхностей автоклава (корпуса и крышек) выполняется с использованием стекло- или минераловолокнистых матов с обвязкой

их фольгой. При отсутствии или повреждении теплоизоляции корпуса автоклава теплотери через стенки могут составлять 20% и более.

Проведение энергетического аудита на предприятиях ООО «Аэрок» и реализация ряда технических решений позволило довести удельный вес экономии тепловой энергии за счет вторичного использования отработанного пара и конденсата до 30%. Для этого на предприятии предусматривается перепуск отработанного пара из автоклава в автоклав. Экономия тепловой энергии при перепуске пара из одного автоклава в другой составляет не менее 0,01 Гкал/м³ ячеистого бетона, но может достигать и 0,03–0,04 Гкал/м³ в зависимости от давления пара при автоклавной обработке и полноты перепуска. Перепуск отработанного пара ведется около 1 ч до снижения давления пара в автоклаве в пределах 0,25–0,35 МПа [6].

Разработана и внедрена технологическая схема использования конденсата, а также его тепловой энергии в технологическом цикле производства ячеистого бетона на ООО «Аэрок». Возникающий при процессе автоклавной обработки горячий конденсат подаётся 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. Конденсат кроме накопленной тепловой энергии имеет щелочную среду, содержит в своем составе Са(ОН)₂ и другие составляющие продуктов гидратации цемента. При автоклавной обработке при литьевой технологии производства образуется конденсат в объеме 0,09 м³ на 1 м³ выпускаемой продукции с температурой 75–80°C. При правильном подходе данный конденсат и его тепло максимально используется в технологическом процессе.

При перепуске пара экономия в пересчете на природный газ составляет 4,5 м³ на 1 м³ выпускаемой продукции. Регулярный перепуск пара возможен лишь при наличии не менее пяти автоклавов, а при меньшем их количестве отработанный пар и конденсат должны максимально быть использованы для подогрева воды затворения газобетонной смеси, подогрева песка, воды, шламов и отопления и других целей.

На новых технологических линиях для поддержания температуры ячеистобетонного сырца перед загрузкой не ниже 80°C 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 ячеистобетонного сырца перед автоклавной обработкой.

Стоимость энергетических ресурсов в себестоимости продукции составляет 11–12%, стоимость сырьевых материалов в себестоимости продукции, например, для изделий плотностью 500 кг/м³ составляет 48–50%.

На наш взгляд, большие резервы в части экономии энергетических ресурсов несет вакуумирование автоклавов. При наличии в автоклаве большого количества воздуха коэффициент внешнего теплообмена относительно невелик, что приводит к замедленному прогреву и невозможности осуществить как быстрый подъем температуры, так и сброс давления в объеме автоклава. Вполне очевидно, что без удаления воздуха возникает необходимость увеличения продолжительности режима автоклавной обработки.

Еще в 50-е годы А.В. Волженским было показано, что наличие воздуха в автоклаве снижает максимальную температуру запаривания и, следовательно, прочность бетона, приводит к браку, необходимости удлинения продолжительности режимов автоклавной обработки. Авторы [7] установили, что присутствие воздуха в автоклаве снижает коэффициент теплоотдачи от среды к бетону при конденсации пара и замедляет разогрев изделий. По мнению [8] наиболее простым и эффективным способом удаления воздуха из автоклава и изделий является продувка автоклава паром.

В проведенной ранее нами работе показано, что продувка автоклава паром и последующее вакуумирование ускоряют прогрев изделий и позволяют более качественно производить режим пропарки ячеистого бетона в производственных условиях ООО «Аэрок» [6]. На рис. 1 приведена принципиальная схема автоклавного режима.

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 др. вакуумирование автоклава перед подъемом давления является обязательной составляющей технологического процесса гидротермальной обработки ячеистых бетонов.

Следует заметить, что согласно СН 277-80 [9], а этот нормативный документ и сегодня есть действующим

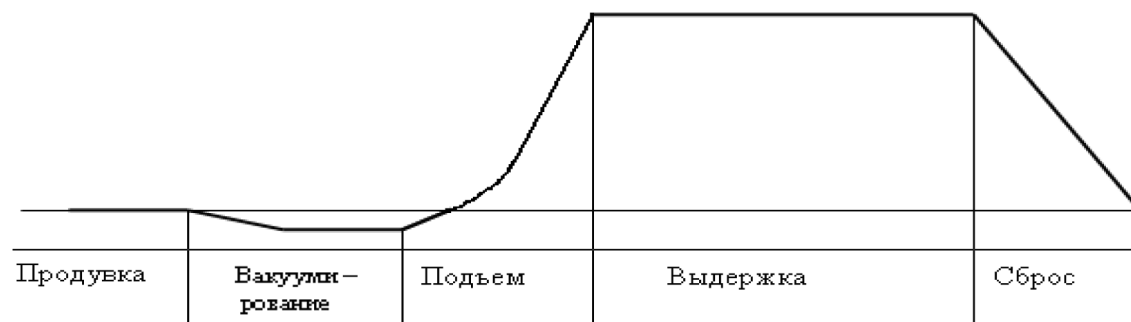


Рис. 1. Принципиальная схема режима автоклавной обработки ячеистого бетона

ющим на территории Украины, РФ, Казахстана, рекомендуемые режимы автоклавной обработки ячеистых бетонов предусматривают вакуумирование в течение 0,5–1,5 часа после сброса давления в автоклаве. В Республике Беларусь в 2009 году введен в действие Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-5.03-137-2009 (02250) – «Изделия из ячеистого бетона. Правила изготовления», который отменил на территории Республики Беларусь действие СН 277-80. В отличие от СН-277-80 белорусский ТКП 45-5.03-137-2009 (02250) предусматривает вакуумирование до подъема давления в автоклаве, как и ведущие европейские производители газобетона.

Переход на предприятиях ООО «Аэрок» к производству ячеистого бетона с повышенным коэффициентом конструктивного качества плотностью 300–400 кг/м³ представляет возможным сократить продолжительность изотермической выдержки автоклавной обработки ячеистого бетона на 0,5–1 часа и на 30–40% сократить продолжительность подъема давления в автоклаве при наличии технологической возможности парогенерирующего оборудования. Снижение плотности газобетонных блоков с 500–600 кг/м³ до плотности 300–400 кг/м³ обеспечивает снижение паропроницаемости ячеистого бетона на 30–40%.

На рис. 2 приведена зависимость расчетного коэффициента паропроницаемости от плотности ячеистого бетона.

Коэффициент паропроницаемости представляет собой величину, численно равную массе водяного пара в мг, которая проходит в течение одного часа через слой материала площадью 1 м² и толщиной 1 м при условии, что температура воздуха у противоположных сторон равная, а разность парциального давления водяного пара равняется 1 Па [10]. Паропроницаемость ячеистого бетона должна обязательно учитываться при назначении режима гидротермальной обработки. В этой связи загрузка автоклавов на предприятиях ООО «Аэрок» будет производиться изделиями одной плотности в соответствии с откорректированными режимами автоклавирования.

Через более низкое значение паропроницаемости ячеистого бетона вполне логичным выглядит и возможное снижение продолжительности сброса давления, поскольку по мере снижения давления в автоклаве более интенсивно будет происходить выравнивание давления внутри изделий и в автоклаве.

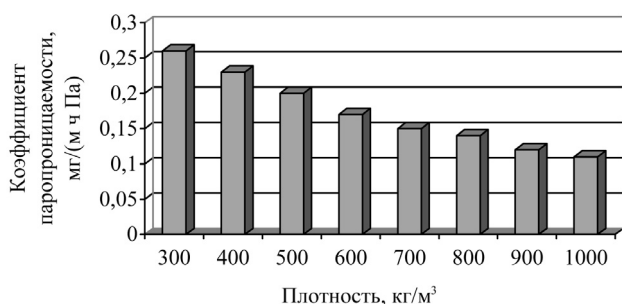


Рис. 2. Зависимость расчетного коэффициента паропроницаемости ячеистого бетона от его плотности

Продолжительность снижения давления в автоклаве рассчитывают по формуле:

$$\tau = \frac{G}{\rho_{\text{пар}} \Delta p / \Delta x},$$

где G – количество испаряющейся влаги в указанном интервале снижения давления, кг; ρ – плотность пара в указанном интервале, кг/м³; $\kappa_{\text{пар}}$ – паропроницаемость газобетона, кг/(с·м·Па); Δp – допускаемый перепад давления по сечению изделия, МПа, $\Delta p = 0,041$ для газобетона плотностью 600–700 кг/м³ и $\Delta p = 0,03$ для газобетона плотностью 300–400 кг/м³; Δx – расстояние от верхней незранированной поверхности до нижней экранированной поверхности изделия, м.

Количество испаряющейся влаги определяют по формуле

$$G = \frac{(1+B/\tau)k\gamma_{\text{сух}}h\Delta t}{t},$$

где $k = 0,9$ – коэффициент, учитывающий количество химически связанной воды; $\gamma_{\text{сух}}$ – средняя плотность сухого изделия, кг/м³; h – толщина изделия; s – удельная теплоемкость; Δt – изменение температуры в указанном интервале снижения давления, °C.

Расчет снижения давления в автоклаве производится в табличной форме с учетом количества интервалов снижения давления. Технологические параметры сырьевых компонентов ячеистобетонной смеси, помимо энергетической составляющей автоклавной обработки, оказывают существенное влияние на свойства ячеистого бетона. В этой связи в последующем после проведения соответствующих расчетов предусматривается проведение корректировки продолжительности режимов автоклавирования ячеистого бетона в производственных условиях ООО «Аэрок» в сторону сокращения их продолжительности. Острая потребность в таких исследованиях возникнет при организации производства армированных изделий и изделий вариотропной структуры.

Поверхность изделий при открытой крышке 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 при этом не превышают 5–10 °C или полностью отсутствуют. Таким образом, вакуумирование может быть использовано и для интенсификации процесса охлаждения изделий в автоклаве после сброса в нем давления и снижения послеавтоклавной влажности на 7–10% [11].

При снижении давления в автоклаве влага в порах материала оказывается в перегретом состоянии по отношению к среде в автоклаве и вскипает во всем объеме изделия. Испарение влаги сопровождается уменьшением теплосодержания изделия и его равномерным охлаждением. Скорость охлаждения изделий на этой стадии определяется скоростью снижения давления в автоклаве.

Выводы

Автоклавная обработка является самым энергоемким технологическим процессом производства ячеистого бетона.

Переброс пара в автоклавы, которые находятся на подъеме, утилизация тепловой энергии конденсата позволяет экономить до 30% тепловой энергии в производственных условиях ООО «Аэрок».

Повышение коэффициента конструктивного качества ячеистого бетона на ООО «Аэрок» и производство стеновых блоков плотностью 300–400 кг/м³ вместо 500–600 кг/м³ приводит к снижению паропроницаемости ячеистого бетона и создает благоприятные условия к сокращению продолжительности режимов автоклавной обработки изделий и экономии энергетических ресурсов.

Вакуумирование автоклавов до повышения давления интенсифицирует прогрев изделий после сброса давления – ускоряет охлаждение изделий и приводит к снижению послеавтоклавной влажности до 10%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Червяков Ю.М. Ніздрюватий бетон – ефективний стіновий матеріал // Строительные материалы и изделия. – 2008. – №6(52). – С. 35–36.
2. Рудченко Д.Г. Строительство жилья в Украине в контексте увеличения производства ячеистого бетона // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. Наук.-техн. збірн. – Вип. 41. 2011. – С. 122–128.
3. Мартыненко В.А. Производство газобетонных изделий автоклавного твердения в 2010 г. // Будівель-

ні матеріали, вироби та санітарна техніка. Наук.-техн. збірн. – Вип. 40. – 2011. – С. 122–128.

4. Горяйнов К.Э. Технология теплоизоляционных материалов и изделий // Стройиздат. – М., 1981. – С. 278.
5. Кузнецов Ю.Б. Производство изделий из автоклавных ячеистых бетонов // Бетон и железобетон. – 1974. – №12. – С. 4.
6. Рудченко Д.Г. Технология энергосбережения и экономии сырьевых материалов в производстве изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения на заводах АЕРОС // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – Наук.-техн.збірн. – Вип. 32. – 2009. – С. 97–102.
7. Горяйнов К.Э. Теплофизические процессы при автоклавной обработке крупноразмерных изделий из ячеистых бетонов // Бетон и железобетон. – 1959. – №2. – С. 7–8.
8. Эйнтре А.Х. Автоклавная обработка газобетонных изделий с удалением воздуха до подъема давления / А.Х. Эйнтре. Э.Г. Оямаа, Ф.П. Кивисельг, Р.К. Нылвак // Строительные материалы. – 1975. – №2. – С. 9–10.
9. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277-80. – Государственный комитет СССР по делам строительства Госстроя СССР.
10. Кривицкий М.Я. Ячеистые бетоны (технология, свойства и конструкции). – 2-е изд., пер.и доп. – М.: Стройиздат, 1972. – 135 с.
11. Белкин Я.М. Исследование температурных условий твердения силикатного бетона при автоклавной обработке известково-песчаных изделий // Сборн. трудов №20 РосНИИИСМ. – М., 1961. – С. 62–69.

УДК 666.09.4

Торчинский А.И., научн. сотрудник;

Ляшко А.Ю., мл. научн. сотрудник;

Крячок Ю.Н., инженер, Институт газа НАН Украины, г. Киев;

Кострырко В.Т., директор;

Яковенко В.В., начальник цеха, ООО «Днепропетровский завод силикатных изделий», г. Днепропетровск

Дмитренко Н.Д., ст. научн. сотрудник, ГП «НИИСМИ», г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ И НАЛАДКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ШАХТНОЙ ПЕЧИ № 4 ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО ЗАВОДА СИЛИКАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Для хорошо работающего теплового агрегата необходимы оптимальные конструктивные решения. Многие конструктивные решения разработаны и внедрены в практику промышленных печей и в течение их многолетней эксплуатации бесспорно показали себя с лучшей стороны. Игнорирование такими решениями приводит к ухудшению качества обжига, к повышенным удельным расходам топлива. К таким, проверенным практикой конструктивным решениям, относятся загрузочно-распределительные устройства шахтных печей, так как равномерное распределение известкового камня по поперечному сечению является решающим фактором для достижения наилучших теплотехнических показателей. Кроме того, шахтная печь, как и другой любой высокотемпературный тепловой агрегат, нуждается в герметизации и теплоизоляции своего рабочего пространства от окружающей атмосферы, что обеспечивает исключение утечек теплоты

из его рабочего пространства. Поэтому отсутствие на шахтной печи №4 Днепропетровского завода силикатных изделий загрузочного оборудования, включающего в себя устройство распределения известкового кускового материала и устройство герметизации печи (отсутствие второго колокола) во время загрузки является фактором, ухудшающим теплотехнические показатели шахтной печи.

Отсутствие герметизирующего устройства на печи (второго колокола) приводит к практически полному прекращению движения теплоносителя в рабочем пространстве шахтной печи и, таким образом, к отсутствию конвективной теплопередачи от продуктов сгорания к обжигаемому материалу. И чем больше производительность шахтной печи, тем больше время разгерметизации по отношению к герметичному состоянию, то есть видим очевидное ухудшение теплообмена между теплоносителем (продуктами