

5. Кантуэлл, Б.Дж. Организованные движения в турбулентных потоках. [Текст] : Пер. с англ. // Сб. статей. Вихри и волны. – М.: Мир. – 1984. – С. 9-79.
6. Arsiriy, E. Reduction of Noise and Vibration of Turbo Machinery due to Improvement of Flowing Part [Text] / E. Arsiriy, V. Arsiry // International Symposium on Compressor & Turbine Flow Systems – Theory & Application Areas “SYMKOM’08”. – Institute of Turbomachinery Technical University of Lodz, Lodz. – 15-17 September, 2008
7. Arsiriy, E. The physical method of visual diagnostics of flow structure [Text] / E. Arsiriy, V. Arsiry // XII International Scientific Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering. Rzeszow-Lviv-Kosice. – 17-19 September 2009. – Rzeszow, Poland. – Z.54, N266. – pp. 5-8
8. Кохонен, Т. Самоорганизующиеся карты [Текст] : пер. 3-го англ. изд. / Т. Кохонен. – М. : БИНОМ Лаборатория знаний, 2008. – 655с., ил
9. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс [Текст] : 2-е изд., испр., пер. с англ. / Под ред. Н.Н. Куссуль, С. Хайкин // М.: ООО “И.Д. Вильямс”. – 2006. – С. 1104.
10. Арсирий, Е. А. Интеллектуальный анализ при комплексном моделировании для повышения надежности работы энергетического оборудования [Текст] / Е. А. Арсирий, С. Г. Антощук, В. А. Арсирий, В. И. Кравченко // Радіоелектронні і комп’ютерні системи. – 2012. – № 6(58). – С. 89–94.

В контексті загальної проблеми підвищення енергоефективності виробництв аміаку представлені результати досліджень та розробок, спрямованих на зниження енергоємності відділення синтезу за рахунок застосування у блоках конденсації пароежекторних холодильних систем, утилізуючих низькопотенціальну теплоту матеріальних потоків з рівнем температур менше 100°С

Ключові слова: виробництво аміаку, енергоефективність, утилізація теплоти, пароежекторні холодильні системи

В контексте общей проблемы повышения энергоэффективности производств аммиака представлены результаты исследований и разработок, направленных на снижение энергоёмкости отделения синтеза за счет применения в блоках конденсации пароежекторных холодильных систем, утилизирующих низкопотенциальную теплоту материальных потоков с уровнем температур менее 100°С

Ключевые слова: производство аммиака, энергоэффективность, утилизация теплоты, пароежекторные холодильные системы

УДК 661.53:66.042.2

ПАРОЭЖЕКТОРНЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ЭНЕРГО- СБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА АММИАКА

А. К. Бабиченко

Кандидат технических наук, профессор
Кафедра автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: svetkrasnikova@yandex.ua

1. Введение

По объему производства аммиак занимает одно из первых мест в химической промышленности, основное направление использования которого связано с получением азотсодержащих минеральных удобрений. За счет внесения этих удобрений в почву обеспечивается повышение урожайности сельскохозяйственных культур в среднем на 35 % [1], что обусловило непрерывный рост мировых мощностей по производству аммиака, которое за период 2008 – 2011 г.г. увеличилось на 11 % и достигло уровня 200 млн.т. [2]. В Украине даже в наилучшие годы (1990 г.) показатель внесения этих удобрений был значительно

ниже (140÷160 кг/га), чем в странах с интенсивным земледелием (200÷400 кг/га) [3]. Учитывая последнее и значительное количество пахотных земель аммиак и удобрения для Украины всегда будут стратегическим товаром, определяющим экономическую безопасность страны.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

По данным аналитическо-консультативного совета по вопросам экономики Верховного Совета Украины биологическая потребность пахотных земель в

азотных удобрений составляет около 2,7 млн.т/год, что требует для такого объема производства до 2 млн.т/год аммиака [4]. При общей мощности аммиачных производств 6,2 млн.т/год [3] и экспорте около 1,5 млн.т/год излишек мощностей по аммиаку составляет не менее 2,5 млн.т/год. Однако трудности со сбытом аммиака как на внутреннем так и на внешнем рынках связаны с высокой себестоимостью, что обусловлено низкой энергоэффективностью аммиачных агрегатов, составляющей $9 \div 10$ Гкал/т. NH_3 . В то время как современные агрегаты западных стран имеют показатели энергоемкости 6,8 – 7,5 Гкал/т. NH_3 [4, 5]. Наилучший способ преодоления этой проблемы – это закупка новых агрегатов стоимостью до \$ 200 млн за каждый агрегат [4]. Однако, учитывая экономическое положение страны вряд ли стоит рассчитывать на свободные финансовые ресурсы для таких приобретений. В таких условиях, чтобы предотвратить падение аммиачных мощностей из-за возможной неконкурентоспособности, необходима опережающая модернизация действующих производств за счет внедрения эффективных энергосберегающих технологий для снижения их энергоемкости. Особенно этому способствует существенный рост котирования удобрений, наблюдающийся в последние три года, в связи с повышением цен на газ в Европе. Предложения по отгрузке аммиака в 2012 г. составили более \$ 600 за тонну [6], хотя совсем недавно Украина проигрывала в конкурентно-способности на внешних рынках и не имела прибыли от продажи аммиака.

Одним из базовых для азотной промышленности стран постсоветского пространства являются крупнотоннажные агрегаты синтеза мощностью 1360 т/сутки серии АМ – 70 с двухступенчатой схемой конденсации продукционного аммиака, построенного по проектам ГИАП и идеологии фирмы Келлог традиционно принятой почти во всех современных аммиачных производствах индустриально развитых стран. Особо энергоемким в этих агрегатах является отделение синтеза, обобщенная схема которого представлена на рис. 1. Это в некоторой степени обусловлено использованием в блоке вторичной конденсации аммиачного турбокомпрессорного холодильного агрегата (АТК), потребление электроэнергии которого составляет около 40 % от общего объема (130 кВт·ч/т. NH_3) всего агрегата синтеза.

Ранее проведенными исследованиями [7] установлена и подтверждена внедрением возможность отключения АТК с обеспечением регламентной температуры вторичной конденсации на уровне не выше 0°С только двумя абсорбционно-холодильными установками (АХУ) при снижении температуры атмосферного воздуха до 5°С (осенне-зимний период), холодопроизводительность которых в этих условиях выше проектной 6,28 МВт и достигает 6,8 МВт. При этом за счет более эффективного теплообмена в аппаратах воздушного охлаждения (АПО) температура первичной конденсации уменьшается до 27°С, вследствие чего снижается температура циркуляционного газа и тепловая нагрузка на блок вторичной конденсации за счет уменьшения температуры циркуляционного газа до 35,5°С.

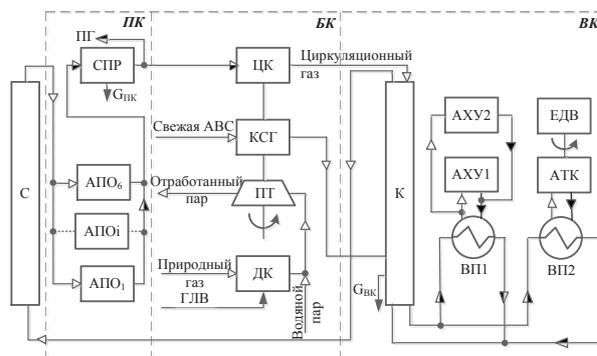


Рис. 1. Обобщенная блок-схема отделения синтеза аммиака: С – колонна синтеза; ПК, ВК – блоки первичной и вторичной конденсации; ЦК – циркуляционный компрессор; КСГ – компрессор свежей азото-водородной смеси (АВС); ПТ – паровая турбина; К – конденсационная колонна; ВП1, ВП2 – низкотемпературные испарители аммиачные; АХУ1, АХУ2 – абсорбционно-холодильные установки; АТК – турбокомпрессорный с электроприводом холодильный агрегат; БК – блок компрессии; ДК – вспомогательный паровой котел; АПО – аппарат воздушного охлаждения; СПР – сепаратор жидкого аммиака; ЕДВ – электродвигатель; ГПК, ГВК – производственный аммиак; ГЛВ – глубокообессоленная вода; ПГ – продувочный газ

Применение АПО в связи с сезонными и суточными колебаниями температуры атмосферного воздуха вызывает, как показывает опыт промышленной эксплуатации, значительные изменения и температуры первичной конденсации (24÷38°С). Изменение этой температуры по данным, представленным в работе [8], в диапазоне от 35 до 25°С за счет уменьшения тепловой нагрузки на блок компрессии обеспечивает снижение потребляемой тепловой энергии на валу паровой турбины (ПТ) трехкорпусного центробежного компрессора (ЦК, КСГ) на 463 кВт·ч, что приводит к уменьшению расхода природного газа и глубокообессоленной воды (ГЛВ) во вспомогательный паровой котел (ДК) соответственно на 540 $\text{nm}^3/\text{ч}$ и 5,5 т/ч. В связи с этим снижение температуры первичной конденсации приобретает еще большую актуальность.

3. Цель и задачи исследования

В контексте общей проблемы снижения энергоемкости агрегата синтеза при работе в условиях повышенной температуры атмосферного воздуха (весенне-летний период) с целью полного исключения АТК и снижения расхода природного газа требуется решение задач повышения холодопроизводительности АХУ, снижения и стабилизации тепловой нагрузки на блоки компрессии и вторичной конденсации с применением энергоэффективных систем охлаждения.

4. Результаты исследований

Решение поставленных задач осуществлялось в два этапа. На первом этапе для снижения тепловой нагрузки на блоки компрессии и вторичной конденсации решалась задача выбора дополнительной системы ох-

лаждения, повышение энергоэффективности которой может быть достигнуто за счет утилизации неиспользуемой низкопотенциальной теплоты материальных потоков. Среди них в агрегате синтеза следует выделить отработанный пар турбин компрессора технологического воздуха в количестве 54,6 т/ч, на конденсацию которого в аппаратах воздушного охлаждения отделения парообразования затрачивается 972 кВт·ч электроэнергии на привод трех вентиляторов. Однако температурный потенциал этого потока с давлением 0,04 МПа очень низкий (90°C), что не позволяет использовать его для утилизации в циклах АХУ. Анализ существующих энергосберегающих технологий свидетельствует о возможности утилизации теплоты столь низкого температурного потенциала в циклах парожеторных холодильных установок (ПХУ) с легкокипящим холодильным агентом. В качестве такого холодоагента в аммиачном производстве целесообразно использовать тот же аммиак, широкое применение которого в циклах ПХУ различных отраслей промышленности ограничивалось его вредными свойствами.

Общее количество утилизационной теплоты отработанного водяного пара в парогенераторе ПХУ с вышеприведенными параметрами при температуре конденсации пара 76°C и теплоте конденсации 2312,88 кДж/кг [9] составит около 35,7 МВт (30,7 Гкал/ч). Такая утилизация обеспечит возможность получения рабочего аммиачного пара в парогенераторе для эжектирования с давлением 3 МПа и температурой 65°C при теплоте парообразования 963,7 кДж/кг [9] в количестве 127 т/ч. При этом средняя разница температур в парогенераторе ПХУ составит 11°C, что обеспечит достаточно эффективный теплообмен в процессе испарения – конденсации.

Энергоэффективность работы ПХУ характеризуется ее тепловым коэффициентом, которая тем выше, чем больше коэффициент инжекции струйного аппарата – эжектора [10]. Величина последнего увеличивается с повышением давления, а значит и температуры кипения потока холодоагента из испарителя. В связи с этим представляют интерес рассмотрение двух вариантов включения высокотемпературного испарителя (ВТВ) в схему отделения синтеза для исключения АТК. По первому варианту в блоке вторичной конденсации непосредственно перед конденсационной колонной (К) для охлаждения циркуляционного газа до температуры 35,5°C, а по второму варианту в блоке первичной конденсации между аппаратами воздушного охлаждения (АПО) и сепаратором (СПР) для охлаждения циркуляционного газа до температуры 27°C. Сравнение экономичности по двум вариантам использования ПХУ с высокотемпературным испарителем требует определения распределения температур, давлений, материальных и тепловых потоков в цикле ПХУ, что осуществлялось методом математического моделирования. При этом расчет достижимого коэффициента инжекции выполнялся в соответствии с достаточно хорошо апробированным в практических условиях алгоритмом с использованием газодинамических функций [10], а потребная холодопроизводительность для ПХУ находилась по количеству теплоты отданной циркуляционным газом в процессе охлаждения [11].

Основные исходные данные и результаты расчетов по двум вариантам включения высокотемпературного испарителя ПХУ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технико-экономические показатели применения ПХУ в схеме отделения синтеза

Наименование показателя	Вариант применения	
	I	II
Расход циркуляционного газа, тыс.м ³ /ч:		
в высокотемпературный испаритель ПХУ	624	667
в низкотемпературные испарители АХУ	624	618
Температура циркуляционного газа в высокотемпературный испаритель, °С:		
на входе	48,5	40
на выходе	35,5	27
Давление циркуляционного газа в высокотемпературном испарителе, МПа	24	22,23
Концентрация NH ₃ в циркуляционном газе на входе высокотемпературного испарителя ПХУ, % об.	10,76	14,84
Холодопроизводительность ПХУ, МВт	6,6	7,0
Коэффициент инжекции в цикле ПХУ	0,5	0,29
Экономия электроэнергии в сравнении с существующей схемой, кВт·ч:		
в блоках конденсации NH ₃	3600	2960
в блоках конденсации отработанного пара турбин	100	324
Экономия расхода во вспомогательный паровой котел, м ³ /ч:		
природного газа	–	618
глубокообессоленной воды	–	9,4
Общее снижение эксплуатационных затрат, грн/ч	1813	2814

Расчет показателя общего снижения эксплуатационных затрат выполнялся при наиболее благоприятных в 2008 г. ценах на природный газ и электроэнергию соответственно на уровне 1780 грн/тыс.м³ и 490 грн/тыс.кВт·ч. Приведенные в табл. 1 показатели свидетельствуют о большей эффективности второго варианта, при котором обеспечивается не только снижение тепловой нагрузки на блок вторичной конденсации и исключение АТК из схемы работы агрегата синтеза, но и на блок компрессии, что способствует уменьшению расхода природного газа и обессоленной воды во вспомогательный паровой котел получения пара для привода турбины.

На втором этапе задача увеличения холодопроизводительности АХУ в условиях повышенной температуры атмосферного воздуха решалась методом математического моделирования процессов тепло- и массообмена ее ключевых аппаратов – низкотемпературного испарителя и абсорбера. Такой подход позволил по экспериментальным данным установить закономерности процессов в этих аппаратах и определить значения режимных параметров, обеспечивающих повышение холодопроизводительности АХУ до величины 3,6 МВт (7,2 МВт для двух АХУ). Проведенный сравнительный анализ этих режимных параметров с существующими, пред-

ставленными в табл. 2, позволил синтезировать аппаратно-технологическое оформление АХУ, согласно которого повышение ее холодопроизводительности достигается путем исключения из схемы дефлегмации паров холодоагента крепким раствором, установкой перед паровым водяного переохладителя и проведением ректификации пара частью жидкого холодоагента из конденсатора. Подача этой части на ректификацию осуществляется в отличие от известных схем за счет разницы давлений, создаваемой струйным компрессором с включенным его в схему работы ПХУ [12].

Таблица 2

Основные технико-экономические показатели существующего и предложенного аппаратно-технологического оформления АХУ в условиях повышенной температуры атмосферного воздуха

Наименование показателя	Схема двух АХУ	
	действующая	предложенная
Расход циркуляционного газа на низкотемпературные испарители, тыс.м ³ /ч:	618	618
Давление циркуляционного газа, МПа	22,23	22,23
Температура циркуляционного газа на входе низкотемпературного испарителя, °С	16	16
Температура слабого раствора на входе абсорбера, °С	49	43
Концентрация слабого раствора, кг/кг	0,304	0,308
Концентрация холодоагента из конденсатора, кг/кг	0,998	0,9997
Расход флегмы из конденсатора, т/ч	–	3,37
Расход флегмы из низкотемпературного испарителя, т/ч	0,11	0,023
Температура вторичной конденсации, °С	1,5	-0,8
Расход холодоагента в низкотемпературные испарители, т/ч	21,44	23
Холодопроизводительность, МВт	6,44	7,2
Кратность циркуляции растворов	7,72	7,1
Давление конденсации, МПа	1,58	1,6
Давление в абсорбере, МПа	0,29	0,29
Тепловой коэффициент	0,534	0,547
Расход электроэнергии для конденсации паров холодоагента, кВт·ч	400	800
Экономия расхода во вспомогательный паровой котел, м ³ /ч:		
природного газа	–	67,2
обессоленной воды	–	1,02
Экономия электроэнергии на конденсацию отработанного водяного пара турбин, кВт·ч	–	150
Общее снижение эксплуатационных затрат, грн/ч	–	8,57

Как следует из табл. 2, несмотря на незначительное снижение эксплуатационных затрат в сравнении с возможностью исключения АТК из схемы работы агрегата синтеза, предложенное аппаратное оформление АХУ является энергоэффективным. Разработанное аппаратно-технологическое оформление конденсационных систем извлечения продукционного аммиака в виде обобщенной схемы представлено на рис. 2.

Последняя в сравнении с существующей схемой (рис. 1) за счет применения высокотемпературного испарителя ВТВ с включением его в схему ПХУ, а также совмещения циклов АХУ и ПХУ позволяет в условиях повышенной температуры атмосферного воздуха даже свыше 35°C снизить температуру первичной конденсации и содержание аммиака в циркуляционном газе соответственно с 40 до 27°C и с 10,76 до 9,55 %, а холодопроизводительность двух АХУ увеличить с 6,44 до 7,2 МВт. Это обеспечивает вследствие снижения тепловой нагрузки на блоки компрессии и вторичной конденсации, а также повышения холодопроизводительности АХУ исключение из схемы работы АТК и снижение температуры вторичной конденсации до регламентной.

5. Выводы

Проведенные исследования по разработке энергоэффективного аппаратно-технологического оформления конденсационных систем извлечения продукционного аммиака в отделении синтеза позволяют сделать следующие выводы.

Пароэжекторные холодильные системы несмотря на низкий тепловой коэффициент обеспечивают возможность утилизации низкопотенциальной теплоты материальных потоков с уровнем температур менее 100°C за счет использования в цикле работы низкокипящего хладагента.

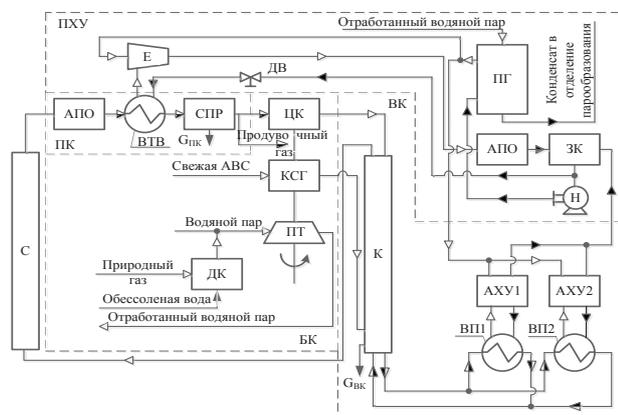


Рис. 2. Энергоэффективное аппаратно-технологическое оформление конденсационных систем извлечения продукционного аммиака отделения синтеза: Е – эжектор; ПГ – парогенератор; ЗК – сборник конденсата; Н – насос жидкого аммиака; ДВ – дроссель-вентиль; ВТВ – высокотемпературный испаритель.

Экономичность работы ПХУ по отношению к АТК с электроприводом тем выше, чем больше температурный режим охлаждения и ограничивается коэффи-

циентом инжекции на уровне не менее 0,2. С целью обеспечения наибольшей энергоэффективности необходимо использование ПХУ в схеме отделения синтеза в составе блока первичной конденсации, что обеспечивает за счет снижения температуры первичной конденсации как уменьшение потребления электроэнергии с исключением АТК, так и тепловой энергии пара на привод турбины блока компрессии. Увеличение холодопроизводительности АХУ и снижение температурного режима охлаждения может быть достигнуто совмещением ее работы с циклом ПХУ, исключением дефлегмации паров хладагента крепким раствором и проведением ректификации паров частью жидкого хладагента из конденсатора, подача которого осуществляется за счет разности давлений, создаваемой струйным компрессором цикла ПХУ. Применение разработанной схемы при производительности агрегата синтеза 55,625 т/ч в условиях повышенной температуры атмосферного воздуха (весенне-летний период) обеспечивает снижение эксплуатационных затрат по электроэнергии и природному газу соответственно на 20 кВт·ч/т. NH₃ и 3,67 м³/т. NH₃. Экономический эффект составит около 4 млн. грн. При ныне существующих в Украине ценах на природный газ этот эффект увеличится более чем в 1,5 раза.

Литература

1. Гамбург, Д. Ю. Синтез аммиака: история и современность [Текст] / Д.Ю. Гамбург // Химическая промышленность. – М.: Минхимпром, 1992. – № 5. – С. 33 – 39.
2. Обзор рынка аммиака в СНГ [электронный ресурс]. – Режим доступа: URL:http://www.infomine.ru/otchetsy/gu_ammonia.pdf – Название с экрана.
3. Глікін, М. А. Виробництво аміаку: еволюція, стан, перспективи [Текст] / М.А. Глікін, О.П. Мітронов, Г.В. Черепанова, Л.М. Савицька // Хімічна промисловість України. – Київ: АТ «ВНДІХІМПРОЕКТ», 1998. – № 2. – С. 52 – 57.
4. Мітронов, А. П. Перспективи експлуатації агрегатів виробництва амміака в Україні [Текст] / А.П. Мітронов, П.В. Овсієнко, В.А. Топчий // Хімічна промисловість України. – Київ: АТ «ВНДІХІМПРОЕКТ», 2000. – № 1-2. – С. 25 – 29.
5. Сосна, М.Х. Модернізація азотної промисловості – вимоги часу [Текст] / М.Х. Сосна, Д.П. Алейнов // Химическая промышленность. – М.: Минхимпром, 2001. – № 5. – С. 7 – 9.
6. Подорожання амміака змушує виробників експортувати цей товар в ушкоду виробству селітри і карбаміда [электронный ресурс]. – Режим доступа: URL:http://bin.ua/news/economics/blog-post_13.html – Название с экрана.
7. Бабиченко, А.К. Повышение энергоэффективности блока вторичной конденсации агрегата синтеза аммиака в условиях колебаний температуры атмосферного воздуха [Текст] / А.К. Бабиченко // Экология и промышленность. – Харьков: УкрГНТЦ «Энергосталь», 2012. – № 1. – С. 89 – 92.
8. Бабиченко, А.К. Вплив температури первинної конденсації на ефективність експлуатації великотонажних

- агрегатів синтезу аміаку [Текст] / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський // Восточно – европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический центр, 2008. – № 3/4. – С. 23 – 27.
9. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкости [Текст] / Н.Б. Варгафтик. – М.: наука, 1972. – 720 с.
10. Соколов, Е.Я. Струйные аппараты [Текст] / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 350 с.
11. Ефимов, В.Т. Повышение эффективности работы абсорбционных холодильных установок в агрегатах синтеза аммиака большой мощности [Текст] / В.Т. Ефимов, С.А. Ерещенков, А.К. Бабіченко // Холодильная техника. – М.: «Пищевая промышленность», 1979. – № 2. – С. 23 – 26.
12. Патент на корисну модель № 42161. Україна. МПК F25B 15/00, F25B 49/00, C01C 1/00. Установа для виробництва аміаку / Бабіченко А.К., Тошинський В.І., Красніков І.Л., Деменкова С.Д.; заявник і власник НТУ «ХПІ». №U200900599; заявл. 27.01.2009; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.

У статті представлено результати експериментальних та теоретичних досліджень кінетики та динаміки фільтраційного сушіння сировинних матеріалів виробництва шлакового гравію. Обґрунтовано існування періоду часткового та повного насичення теплового агента під час фільтраційного сушіння. Проаналізовано залежність фільтраційного сушіння від технологічних параметрів теплового агента і висоти шару матеріалу

Ключові слова: кінетика, динаміка, глина, сирцеві гранули, швидкість фільтраційного сушіння

В статье представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований кинетики и динамики фильтрационной сушки сырьевых материалов производства шлакового гравия. Обосновано существование периода частичного и полного насыщения теплового агента при фильтрационной сушке. Проанализирована зависимость фильтрационной сушки от технологических параметров теплового агента и высоты слоя материала

Ключевые слова: кинетика, динамика, глина, сырцовые гранулы, скорость фильтрационной сушки

УДК 66.047.45

КІНЕТИКА ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ ВИРОБНИЦТВА ШЛАКОВОГО ГРАВІЮ

В. М. Атаманюк

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: atamanyuk@ukr.net

І. Р. Барна

Аспірант*

E-mail: barnairuna@ukr.net

Д. М. Симак

Кандидат технічних наук*

E-mail: dsmak3@gmail.com

*Кафедра хімічної інженерії

Національний університет "Львівська політехніка"

вул. С.Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

1. Вступ

За сучасних світових тенденцій до зростання споживання продукції будівельної промисловості та кризової екологічної ситуації актуальною є проблема раціонального використання вторинних сировинних ресурсів, зокрема золошлакових відходів теплових електростанцій (ТЕС) для одержання будівельної продукції необхідної кількості та заданої якості. Ці відходи доцільно застосовувати у виробництві шлакового гравію, який використовується у виробництві легких теплоізоляційних, конструкційних, хімічностійких бетонів, як дрібнозернистий фільтр (адсорбент) в газоочисних установках, системах аспірації житло-

вих приміщень тощо. Одним з найбільш затратних етапів виробництва шлакового гравію є процес попереднього висушування сировини (шлаку та глини) та сирцевих гранул.

На даний час в промисловості для реалізації процесу сушіння сировинних матеріалів виробництва шлакового гравію використовують барабанні сушарки, які характеризуються громіздкістю конструкції, тривалим часом висушування, забрудненням навколишнього середовища дрібнодисперсними частинками, які виносяться з тепловим агентом. З метою зменшення винесення дрібнодисперсних частинок тепловим агентом швидкість теплового агента в сушарках цього типу не перевищує