

УДК 547.495.2
С 87

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАРБАМИДА

О. Ю. Яковлева, канд. техн. наук¹;
Ю. А. Яковлев, канд. техн. наук¹;
А. А. Лапинский, студ.¹;
Г. В. Деревянко, канд. техн. наук²

¹Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина

²ООО «HARMOTECH GROUP GMBH», Германия

Аннотация. Выполнено компьютерное моделирование полной технологической схемы действующего предприятия по производству карбамида. Проведен численный эксперимент и определено влияние структуры технологической схемы и режимных параметров подачи тепла в блок выпарки на энергоэффективность производства карбамида.

Ключевые слова: моделирование, структура, параметры, технологическая схема, карбамид, энергоэффективность.

Анотація. Виконано комп'ютерне моделювання повної технологічної схеми діючого підприємства з виробництва карбаміду. Проведено числовий експеримент і визначено вплив структури технологічної схеми та режимних параметрів подачі тепла в блок випаровування на енергоефективність виробництва карбаміду.

Ключові слова: моделювання, структура, параметри, технологічна схема, карбамід, енергоефективність.

Abstract. The computer simulation of the full flowsheet of the operating enterprise on urea production has been completed. The numerical experiment is carried out. The flowsheet structure impact of the heat supply regime parameters into the evaporation block on the urea production energy efficiency is defined.

Keywords: simulation process, structure, parameters, flowsheet, urea, energy efficiency.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последнее время экологические и энергетические проблемы получают наивысший приоритет в обрабатывающей промышленности. Исходя из этого, актуальной областью исследования на протяжении двух десятилетий являются задачи энерго- и ресурсосбережения и уменьшения техногенного влияния на окружающую среду.

Повышение технологической эффективности аппаратов в большинстве случаев представляется невозможным. Например, в технологической схеме производства карбамида конструкция реактора позволяет выйти на стехиометрические показатели при получении конечного продукта. В подобных случаях системный подход – это единственно возможное средство для повышения энергоэффективности системы как целого. Системный подход в настоящее время широко используется во всем мире. При таком подходе сначала рассматриваем систему в целом, с последующим переходом к ее элементам.

Последние разработки ведутся в направлении интегрированных методологий или процедур для процесса проектирования с целью поиска возможностей энергосбережения и уменьшения отходов с точки зрения системы в целом. Само понимание интегрированной природы процесса и его системная реализация является решающим при работе над отдельными блоками этого процесса. Изменение потока или внесение изменений в работу блоков может оказать

воздействие на процесс в целом, а также оказывает влияние на работу системы и, соответственно, на экономические показатели.

Системный подход позволяет проводить совместный анализ технологического процесса, выделяя в нем «узкие места». В свою очередь, это при соответственной модификации системы позволяет достичь различных целей, в частности, повышения производительности и эффективности использования энергии. Очевидно, что комплексная задача требует качественно нового инструментария и методологии.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время лучшими в мире системами технологического моделирования считаются PRO-2 [1] и HYSYS [3]. Из отечественных аналогов заслуживают внимания система технологического моделирования GIBBS [4] (разработка специалистов ООО «ТопЭнергоБизнес», г. Москва) и «ПС «ГазКонд-Нефть» (разработка специалистов Института газа Национальной академии наук Украины, г. Киев). Существует и ряд других, более простых и менее универсальных систем моделирования.

В зарубежной литературе такой комплексный подход получил название «процесс интеграции», он является основой для методологий проектирования. Основные категории данного процесса – это интеграция массы и интеграция энергии. Интеграция массы –

это комплексный подход, при котором внимание отдается системе в целом, а не ее элементам для получения, разделения и маршрутизации компонентов и потоков в технологическом процессе. Системная методология включает в себя, во-первых, полное понимание природы потока массы в процессе и, во-вторых, утилизирует это понимание для определения целей работы и определения оптимума, разделения и получения потоков и компонентов. При рассмотрении взаимодействия потоков массы и энергии системный подход позволяет рассматривать их как единое целое.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – повышение энергоэффективности производственной схемы получения карбамида.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В качестве объекта исследования в работе была выбрана схема со стриппинг-процессом фирмы «Stamicarbon» [4], которая является на данный момент наиболее распространенной технологией производства карбамида на Украине и в которой расход сырья практически приблизился к стехиометрической норме. Поэтому наиболее реальным путем снижения себестоимости является уменьшение энергоемкости производства карбамида.

Технологическая схема производства карбамида представляет собой совокупность множества аппаратов, взаимосвязанных между собой технологическими, сырьевыми и энергетическими потоками, и работающих как единое целое. Даже добившись предельных значений рабочих характеристик аппаратов (максимальной эффективности энергообмена, минимальных массогабаритных характеристик), невозможно существенно повысить энергоэффективность производства карбамида. Энергетические характеристики химико-технологической системы (ХТС) имеют сложную зависимость и могут изменяться как при неизменном наборе технологических аппаратов, но различном их расположении, так и при модификации структуры технологической схемы при изменении количества аппаратов, а также при изменении режимных параметров в пределах технологического регламента.

Экспертная оценка функционирования производства карбамида показала, что отдельные энергоиспользующие технологические процессы представляют собой незамкнутые системы, в которых получение целевого продукта требует существенных затрат энергетических ресурсов и сопровождается образованием большого количества низкопотенциального тепла, которое уходит в окружающую среду. Поэтому разработка и развитие методологии проектирования энергоресурсосберегающих ХТС являются актуальной научной задачей.

В базовой технологической схеме производства карбамида по технологии компании «Stamicarbon» [5],

реализованной на действующем предприятии, тепло экзотермической реакции синтеза карбамида в колонне R201 непосредственно не интегрируется внутри системы. В блоке синтеза отвод тепла от технологического потока производится в двух аппаратах. В скруббере E203 тепло отводится конденсатом, циркулирующим через водяной холодильник, охлаждаемый водой из системы оборотного водоснабжения, а в конденсаторе высокого давления E202 тепло конденсации используется в паросепараторах V201 для производства пара низкого давления. Таким образом, тепло, выделяемое в блоке синтеза, утилизируется не полностью, а часть его через систему градирен сбрасывается в окружающую среду. Очевидно, что использование этой энергии внутри системы приведет к повышению ее энергоэффективности.

Одним из вариантов использования тепла экзотермической реакции синтеза может быть создание дополнительного контура, объединяющего колонну синтеза R201 и теплообменник E401A для подогрева технологического потока на входе в первую ступень выпарки. Предварительная оценка тепловой нагрузки E401A показала, что она меньше, чем количество энергии, выделяемое в колонне синтеза. Из этих соображений следует, что в дополнительный контур должен быть включен теплообменник (водяной конденсатор) E904 для отвода оставшейся части энергии и использования ее в системе отопления и горячего водоснабжения.

Такая организация процесса в дополнительном контуре требует оптимального выбора характеристик теплообменных аппаратов E401A и E904 во взаимосвязи с параметрами потока теплоносителя в дополнительном контуре. Схема пароснабжения производства карбамида с дополнительным контуром приведена на рис. 1.

Температура технологического потока в сборнике V302, из которого поток поступает в первую ступень выпарки, по технологическому регламенту может изменяться в диапазоне 90...98 °С. Процесс испарения влаги из плава карбамида в E401 протекает при $p = 0,032$ МПа и $t = 130$ °С. Отсюда следует, что повышение температуры плава на входе в первую ступень выпарки приведет к снижению расхода пара низкого давления в блоке выпарки.

Результаты численного эксперимента при моделировании производства карбамида с дополнительным контуром приведены на рис. 2.

Температура плава карбамида, обеспечивающая работу схемы при соблюдении технологического регламента, при проведении численного эксперимента изменялась в диапазоне 91...106 °С.

Для оценки возможного снижения расхода пара при повышении температуры плава на входе в E401 введем понятие «относительный расход пара» как отношение действительного расхода пара низкого давления к расходу в проектном режиме завода.

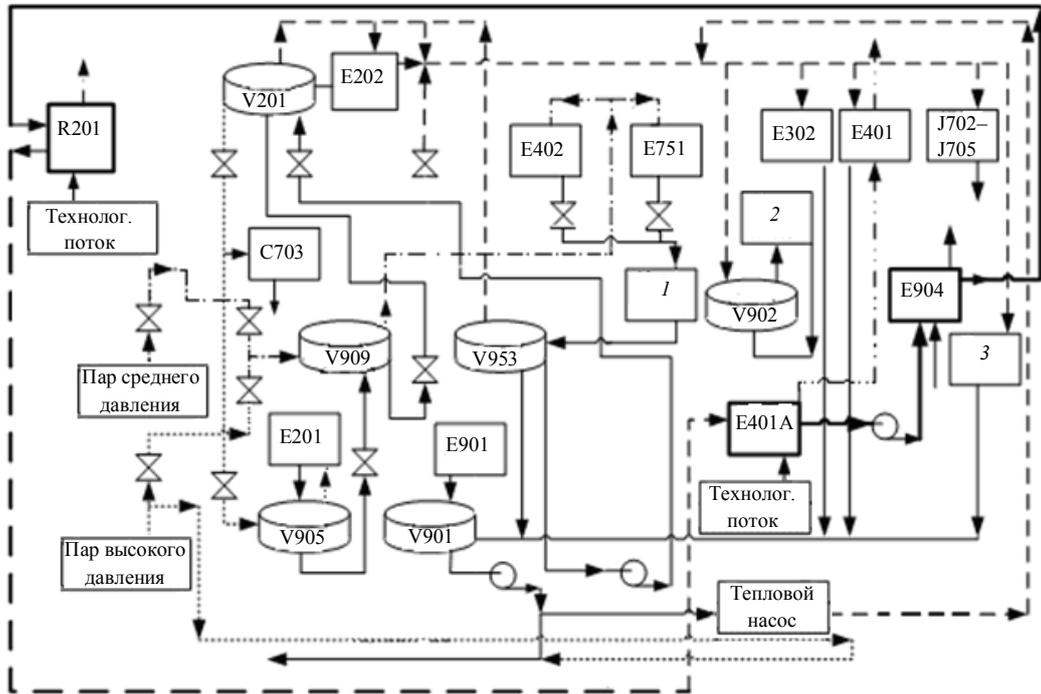


Рис. 1. Схема пароснабжения цеха производства карбамида с дополнительным контуром: V201 – паровой котел; V901 – сборник конденсата; V902 – сатуратор пара низкого давления; V905 – сатуратор пара высокого давления; V909 – сатуратор пара среднего давления; V953 – экспандер (сборник) конденсата; J702 – J705 – эжекторы; E201 – стриппер; E202 – конденсатор высокого давления; E302 – подогреватель колонны синтеза низкого давления; E401 – испаритель первой ступени выпарки; E402 – испаритель второй ступени выпарки; E751 – кипятильник десорбера; E901 – конденсатор; C703 – гидролизер; R201 – колонна синтеза высокого давления; E401A – теплообменник; E904 – водяной конденсатор; ———— → – пар высокого давления; - - - - - → – пар среднего давления; ····· → – пар низкого давления; ———— → – конденсат; — · · · → – технологический поток; 1, 2, 3 – компенсационные элементы

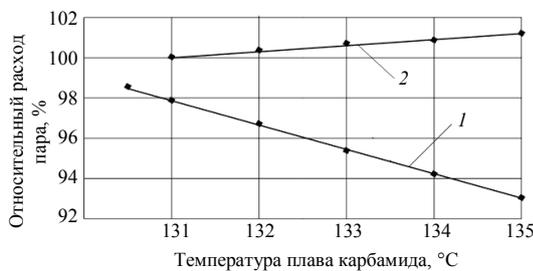


Рис. 2. Зависимость расхода пара низкого давления в первой ступени выпарки от температуры плава карбамида на входе в E401

При проведении численного эксперимента температура теплоносителя на выходе из водяного конденсатора E904 (на входе в колонну R201) была фиксированной и составляла 105 °С. Это была минимальная температура, при которой исключался температурный глайд реакции синтеза карбамида.

Данные на рис. 2 показывают, что потребление пара низкого давления в первой ступени выпарки может быть уменьшено на 6 % за счет включения в структуру технологической схемы дополнительного контура для подогрева плава карбамида на входе в испаритель E401.

Снижение расхода пара низкого давления в блоке выпарки позволило рассмотреть возможность его ис-

пользования в других элементах схемы. Было предложено применить пар низкого давления для подогрева плава карбамида на входе во вторую ступень выпарки. Результаты численного эксперимента приведены на рис. 3.

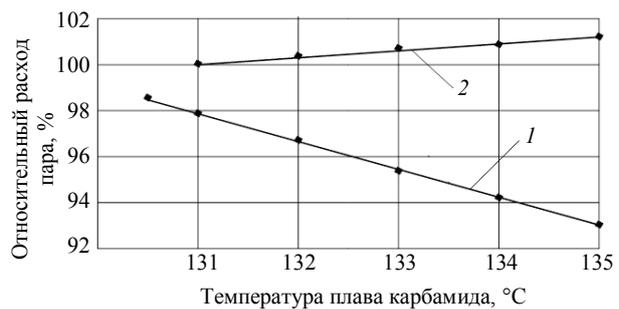


Рис. 3. Зависимость снижения расхода пара (низкого, среднего) давления от повышения температуры плава карбамида на входе в (первую, вторую) ступень выпарки: 1 – относительный расход пара среднего давления в E402, %; 2 – относительный расход пара низкого давления в E401, %

Температура плава карбамида изменялась в пределах технологического регламента в интервале 131...135 °С. Относительный расход пара определялся как отношение действительного расхода пара среднего давления к расходу в проектном режиме.

Из рис. 3 следует, что снижение расхода пара среднего давления может достигать 6,65 % за счет увеличения расхода пара низкого давления всего лишь на 1,18 %. В проектном режиме предприятия в блоке выпарки расход пара низкого давления составляет около 20 т/ч, а расход пара среднего давления – около 3,5 т/ч. В абсолютных единицах эти расходы приблизительно одинаковы, но себестоимость пара среднего давления в несколько раз выше, чем пара низкого давления. Возможное снижение расхода пара низкого давления за счет включения в структуру схемы дополнительного контура составляет около 6 %, превышает дополнительный расход пара на подогрев плава карбамида на входе в E402 и получено за счет интеграции тепловых процессов внутри производственной схемы. Пар среднего давления поступает из заводской котельной и снижение его расхода будет снижать себестоимость

карбамида, повышая энергоэффективность производства.

ВЫВОДЫ

1. Исследовано влияние изменения структуры технологической схемы и режимных параметров на энергоэффективность производства карбамида.

2. Проведенное исследование позволяет сформулировать техническое задание на проектирование теплообменного аппарата E401A и водяного конденсатора E904, которые могут быть использованы при модернизации производства.

3. Выработаны рекомендации для модернизации технологической схемы производства карбамида, позволяющие снизить в блоке выпарки расходы пара низкого давления на 6 % и среднего давления на 6,65 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Компьютерное моделирование и системный анализ энергоэффективности производства карбамида [Текст] / О. Ю. Яковлева, М. Г. Хмельнюк, Г. В. Деревянко, Ю. А. Яковлев // Холодильна техніка і технологія. – 2012. – № 2 (136). – С. 42–51.
- [2] Invensys SimSci-Esscor: PRO/II [Электронный ресурс]. – Май, 2011. – Режим доступа: http://iom.invensys.com/EN/Pages/SimSciEsscor_Process-EngSuite_PROII.aspx.
- [3] Aspen Technology, Inc.: HYSYS [Электронный ресурс]. – Май, 2011. – Режим доступа: <http://www.aspentech.com/hysys/>.
- [4] GIBBS: моделирование в нефтегазовой отрасли [Электронный ресурс]. – Май, 2011. – Режим доступа: <http://www.gibbsim.ru/node/>.
- [5] Stamicarbon. Avancore®Urea Process. [Электронный ресурс]. – Май, 2011. – Режим доступа: <http://www.stamicarbon.com/Avancoresupregsup.-html>.

© Авторський колектив

Надійшла до редколегії 20.09.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. М. І. Радченко