

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотов, Д. К. Характеристика надежности и эффективности деятельности оператора при управлении энергоблоком в основном режиме его работы / Д. К. Федотов // Теплоэнергетика. – 1976. – № 11. – С. 42–44.
2. Ляшенко, Л. И. Система оперативного поиска и принятия решений для оператора при аварийных ситуациях на энергоблоках ТЭС / Л. И. Ляшенко, В. Я. Гиршфельд, Б. И. Крючков // Теплоэнергетика. – 1981. – № 10. – С. 62–64.
3. Дьяков, А. Ф. Моделирование диагностики оперативной ситуации / А. Ф. Дьяков, С. Д. Гарбар // Электрические станции. – 1986. – № 5. – С. 10–13.
4. Прангишвили, И. В. Концептуальные основы построения современных АСУ ТП и АСУП / И. В. Прангишвили // Приборы и системы управления. – 1989. – № 4. – С. 57.
5. Технология ситуационного отображения данных текущего режима и ее реализация на диспетчерском щите ОДУ Средней Волги / Л. С. Штейнбок [и др.] // Электрические станции. – 2004. – № 8. – С. 33–41.
6. Интеллектуальная информационно-диагностическая система и ее реализация в ОАО «Тюменьэнерго» / В. М. Надточный [и др.] // Электрические станции. – 2004. – № 8. – С. 58–62.
7. Ковалев, А. Н. Дистанционная поддержка и оптимизация эксплуатации электрических станций / А. Н. Ковалев // Газотурбинные технологии. – 2007. – № 7. – С. 12–16.
8. Яницкий, В. А. Автоматизация принятия решений при оперативном управлении работой оборудования тепловых и атомных электрических станций / В. А. Яницкий. – Минск: РУП «БЕЛТЭИ», 2006. – 193 с.

Поступила 10.01.2008

УДК 663.52-007.5

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В БРАГОРЕКТИФИКАЦИИ

Асп. УЛЬЯНОВ Н. И., канд. техн. наук КУЗЬМИЦКИЙ И. Ф.

Белорусский государственный технологический университет

Важнейшее направление развития пищевой промышленности Республики Беларусь – повышение эффективности производства и экономия всех видов ресурсов. Поэтому повышение технологической эффективности работы брагоректификационной установки при производстве ректифицированного спирта, обеспечивающей рациональное использование сырьевых ресурсов при одновременном снижении затрат на производство, является важной задачей.

Ректификационные и брагоректификационные установки (РУ и БРУ) широко распространены в спиртовой, гидролизной и других отраслях промышленности. С их помощью получают ряд важных для народного хозяйства чистых продуктов, в первую очередь – этиловый ректифицированный спирт (этанол).

Современный рынок с неизбежностью требует от производителя продукцию только высшего качества. Применительно к спиртовому производ-

ству это значит переход на выпуск спирта сортов «Экстра», «Люкс», «Базис», «Элита», «Полесье» [1]. В то же время практически всем производителям спирта ясно, что невозможно добиться стабильного выпуска качественной продукции с одновременной минимизацией потерь без включения в технологический процесс системы автоматизированного управления и контроля.

Процесс брагоректификации – это заключительная и наиболее ответственная стадия получения конечного продукта спиртового производства – этилового ректификованного спирта. Качество получения спирта во многом зависит от точности поддержания технологических режимов работы БРУ. Выделение товарного спирта из бражек – наиболее энергоемкая стадия всего производства, так как основная доля в потреблении энергии в химических технологиях (до 80 %) приходится на систему выделения продуктов из реакционной массы и их очистки. Все входящие в ректификацию аппараты связаны между собой материальными и энергетическими потоками и нередко образуют технологические рециклы. В связи с этим большое значение имеют вопросы исследования БРУ и РУ как объектов автоматического управления и разработка для них эффективных адаптивных систем автоматического управления (АСАУ).

Исследования БРУ как объекта автоматического управления показали, что данные установки являются сложными многомерными и многосвязными объектами управления. Величины, характеризующие процесс брагоректификации, могут быть подразделены на входные (независимые), которые формируют режимы колонн, и выходные (зависимые), которые отражают состояние объектов. Необходимость в управлении процессом брагоректификации вызывается тем, что независимые переменные подвергаются возмущениям, причем из-за взаимосвязанности параметров изменение одной или нескольких независимых переменных приводит к изменению многих зависимых величин [2].

Исследования основных каналов управления процессом брагоректификации показали, что в качестве входных параметров отдельной тарелки колонны будем рассматривать входные концентрации легколетучего компонента (ЛЛК) в жидкости и паре, входные температуры жидкости и пара, а также входные расходы жидкости и пара. За выходные параметры тарелки примем выходные концентрации ЛЛК в жидкости и паре.

Будем считать, что тарелки пронумерованы снизу вверх; L_i , G_i – массовые расходы жидкости и пара, выходящих с i -й тарелки; $\Theta_{L,i}$, $\Theta_{G,i}$ – массовые концентрации ЛЛК в жидкости и паре, выходящих с тарелки; L_{i+1} , G_{i+1} – массовые расходы жидкости и пара, поступающие на i -ю тарелку колонны; $\Theta_{L,i+1}$, $\Theta_{G,i+1}$ – массовые концентрации ЛЛК в жидкости и паре, поступающие на i -ю тарелку; $T_{L,i+1}$, $T_{L,i}$ – температура жидкости поступающей на i -ю тарелку и покидающей i -ю тарелку колонны; $T_{G,i+1}$, $T_{G,i}$ – температура пара, поступающего на i -ю тарелку и покидающего i -ю тарелку [3].

Задача исследования динамики сводится к нахождению величин приращений $\Theta'_{G_{\text{вых}}}(t) \rightarrow \Theta'_{L_{\text{вых}}}(t)$ выходных концентраций ЛЛК в жидкости и паре, которые вызываются возмущением каждого из входных параметров, например возмущением $\Theta'_{L_{\text{вх}}}(t)$ входной концентрации $\Theta'_{L_{\text{вх}}}(t)$ ЛЛК в жидкости [3].

Наиболее естественной характеристикой динамических свойств данного объекта является передаточная функция. Поэтому будем искать передаточные функции тарелки для каждого канала связи между приращениями входных и выходных параметров. Всего таких каналов восемь: $\Theta'_{L_{BX}}(t) \rightarrow \Theta'_{L_{ВЫХ}}(t)$; $\Theta'_{G_{BX}}(t) \rightarrow \Theta'_{L_{ВЫХ}}(t)$; $L'_{BX}(t) \rightarrow \Theta'_{L_{ВЫХ}}(t)$; $G'_{BX}(t) \rightarrow \Theta'_{L_{ВЫХ}}(t)$ и аналогичные каналы с $\Theta'_{G_{ВЫХ}}(t)$ в качестве приращения выходного параметра $\Theta'_{L_{BX}}(t) \rightarrow \Theta'_{G_{ВЫХ}}(t)$; $\Theta'_{G_{BX}}(t) \rightarrow \Theta'_{G_{ВЫХ}}(t)$; $L'_{BX}(t) \rightarrow \Theta'_{G_{ВЫХ}}(t)$; $G'_{BX}(t) \rightarrow \Theta'_{G_{ВЫХ}}(t)$ [3].

После того как найдены передаточные функции одной тарелки, можно с их помощью определить передаточные функции для различных каналов связи приращений входных и выходных параметров всей колонны.

Кроме тарелок, в состав ректификационной колонны входят и другие элементы (дефлегматор и куб-испаритель), поэтому, строго говоря, прежде чем исследовать динамические свойства всей колонны, необходимо рассмотреть динамику каждого из элементов. Однако, как отмечалось в [2], динамические процессы, протекающие в дефлегматоре и куб-испарителе, осуществляются значительно быстрее, чем в собственно колонне. Все возмущения передаются через эти элементы практически без искажений. Таким образом, задача изучения динамики колонны сводится к исследованию динамики последовательности нескольких тарелок [3].

Как уже отмечалось, БРУ является сложным нелинейным, нестационарным, многомерным и многосвязным объектом управления. Поэтому для эффективного управления БРУ необходимо применять нелинейное многосвязное управление. Без этого невозможно обеспечить максимально предельные значения эксплуатационных параметров (время переходных процессов, удельный расход теплоносителя, хладагента и т. д.) и максимально задействовать функционирование всей БРУ в целом.

Важно, что технологический поток между колоннами БРУ находится в жидком состоянии и, следовательно, между колоннами нет связи по паровому потоку. Это существенно ослабляет влияние последующих колонн на режим предыдущей колонны. Благодаря указанным обстоятельствам каждую колонну (со своим дефлегматором и конденсатором) можно рассматривать как отдельный объект управления (ОУ), что в значительной мере упрощает анализ и синтез системы регулирования.

Особенностью ОУ в технологическом процессе брагоректификации является наличие транспортного запаздывания. Присутствие в ОУ запаздывания осложняет решение задачи стабилизации управляемых параметров и снижает качественные показатели автоматических систем регулирования. В целях построения высокоточных систем управления необходимо учесть эффект транспортного запаздывания объекта на этапе проектирования.

Анализ известных методов синтеза системы автоматического управления (САУ) с позиции применения для управления качеством продукта и экономии энергоресурсов на стадии ректификации в производстве ректифицированного этилового спирта позволяет сделать вывод о том, что каждый из них дает удовлетворительные результаты лишь в случае совокупно-

сти свойств, присущих стадии ректификации, а это значит, что они разработаны недостаточно.

Рассматриваемый ОУ качеством продукта и экономии энергоресурсов на стадии ректификации в производстве ректифицированного этилового спирта по каналу управления «расход греющего пара – концентрация этилового спирта в полупродуктах (готового продукта)» можно отнести к виду объектов с одним входом и транспортным запаздыванием в управлении.

Для бражной колонны (БК) БРУ в качестве канала управления выбираем канал «расход греющего пара – концентрация этилового спирта в бражном дистилляте». Для элюационной колонны (ЭК) БРУ в качестве канала управления выбираем канал «расход греющего пара – концентрация этилового спирта в элюате». Для ректификационной колонны (РК) БРУ в качестве канала управления выбираем канал «расход греющего пара – концентрация этилового спирта в ректификате» [3].

Проведен синтез АСАУ качеством продукта и экономии энергоресурсов с помощью метода функционала Ляпунова – Красовского. Объект управления имеет существенное транспортное запаздывание и переменный коэффициент передачи. Для управления подобными объектами наиболее эффективными являются системы, содержащие линейный упредитель Смита и обеспечивающие перестройку управляющего устройства при изменениях коэффициента передачи объекта [4].

В результате проведенного синтеза был получен алгоритм перестройки коэффициента усиления $K_C(t)$

$$\dot{K}_C = \frac{1}{\lambda_1} U(t - \tau) \sum_{i=1}^n x_i P_{ni}. \quad (1)$$

Полученный алгоритм (1) физически реализуем. На рис. 1 представлена структурная схема АСАУ с упредителем Смита, реализующая алгоритм (1).

Как отмечалось, характерной особенностью БРУ косвенного действия является то, что они представляют собой последовательное соединение нескольких колонн (бражной, элюационной и ректификационной). И хотя каждую колонну можно рассматривать как отдельный ОУ, обладающий детектирующими свойствами, в ряде случаев необходимо учитывать статические и динамические характеристики цепочки колонн. Это важно при разработке систем автоматизации, предусматривающих автоматическое согласование режимов отдельных колонн, а также при синтезе АСАУ установкой в целом [5].

Связь между колоннами БРУ осуществляется по продуктовым потокам. Уровень элюата в нижней части элюационной колонны является естественным индикатором материального равновесия потоков в установке. Поэтому при разработке системы автоматизации, обеспечивающей автоматическое согласование режимов колонн БРУ, следует располагать статической и динамической характеристикой по каналу «расход бражки – уровень элюата» [5].

Проведен синтез АСАУ производительности БРУ с помощью метода функционала Ляпунова – Красовского. ОУ имеет существенное транспортное запаздывание и переменный коэффициент передачи.

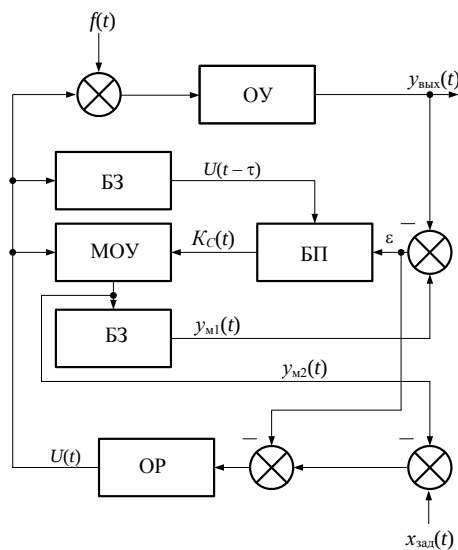


Рис. 2. Структурная схема АСАУ, синтезированная методом функционала Ляпунова – Краковского: ОР – основной регулятор; $K_c(t)$ – перестраиваемый коэффициент усиления; ОУ – объект управления с временным запаздыванием τ ; БЗ – блок задержки; МОУ – модель ОУ без запаздывания; БП – блок подстройки; $x_{\text{зад}}(t)$ – вход ОУ; $y_{\text{вых}}(t)$ – выход ОУ; $y_{\text{м1}}(t)$ – то же модели ОУ с временным запаздыванием; $y_{\text{м2}}(t)$ – то же без запаздывания; ε – величина рассогласования; $U(t)$ – управляющий сигнал; $U(t - \tau)$ – управляющий сигнал, предшествующий на время τ

Внедрение синтезированной АСАУ производительности БРУ позволит оптимально стабилизировать продуктовые потоки в установке и достигнуть материального равновесия, которое позволит обеспечить рациональный режим работы всей БРУ, что повлечет за собой увеличение производственной мощности отделения брагоректификации на 5–6 %.

ВЫВОД

Внедрение данной АСУ ТП в производство позволит снизить удельное энергопотребление на 5–10 % за счет применения оптимального регулирования расхода пара и концентрации спирта в бражном дистилляте, повысить производительность стадии ректификации на 10–15 % при сохранении заданного качества ректифицированного этилового спирта и уменьшить потери спирта с лютерной водой и бардой.

ЛИТЕРАТУРА

1. С п и р т этиловый ректифицированный из пищевого сырья. Технические условия: СТБ 1334 – 2003.
2. У л ь я н о в, Н. И. Анализ процесса производства спирта как объекта управления / Н. И. Ульянов // Труды БГТУ. Сер. VI, физ.-мат. науки и информ. – 2006. – Вып. XIV. – С. 163–167.
3. У л ь я н о в, Н. И. Исследование основных каналов управления процессом брагоректификации и разработка их динамических моделей / Н. И. Ульянов // Труды БГТУ. Сер. VI, физ.-мат. науки и информ. – 2007. – Вып. XV. – С. 118–121.
4. К у з ь м и ц к и й, И. Ф. Теория автоматического управления: учеб. пособие для студентов, специализирующихся в области автоматического управления техническими системами / И. Ф. Кузьмичий, Г. Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2006. – 476 с.
5. М а н д е л ь ш т е й н, М. Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации / М. Л. Мандельштейн. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 240 с.

Представлена кафедрой автоматизации
производственных процессов и электротехники

Поступила 3.03.2008