

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 $K_C(t)$

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

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.

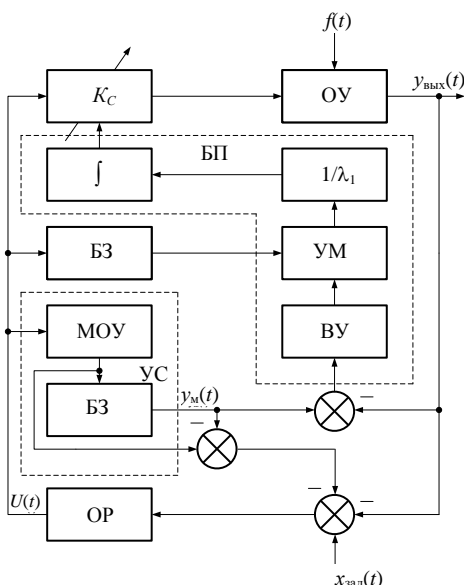


Рис. 1. Структурная схема АСАУ, синтезированная методом функционала Ляпунова – Крассовского: ОР – основной регулятор; K_C – усилитель с перестраиваемым коэффициентом усиления; ОУ – объект управления с временным запаздыванием τ ; БЗ – блок задержки; МОУ – модель ОУ без запаздывания; УМ – умножитель сигналов; \int – интегратор; $1/\lambda_1$ – усилитель с коэффициентом усиления; ВУ – вычислительное устройство, вычисляющее сумму; БП – блок подстройки; УС – упредитель Смита; $x_{зад}(t)$ – вход ОУ; $y_{вых}(t)$ – выход ОУ; $y_m(t)$ – выход модели ОУ

Алгоритм адаптации аналогичен предыдущему. Структурная схема АСАУ, содержащая линейный упредитель Смита и обеспечивающая перестройку коэффициента усиления модели ОУ, согласно определенному алгоритму адаптации представлена на рис. 2.

Структурная схема АСАУ производительности, представленная на рис. 2, позволяет повысить точность управления продуктовыми потоками всей БРУ косвенного действия в целом, что приведет к повышению производительности.

Согласно нормам работы трехколонной установки брагоректификации косвенного действия удельный расход котельного пара составляет 47–59 кг/дал., а производительность установки – от 1000–6000 дал./сут.

Внедрение синтезированной АСАУ качеством продукта и экономии энергоресурсов в производство позволит:

- 1) снизить удельный расход пара на 5–10 % за счет применения оптимального закона управления по каналу «расход греющего пара – концентрация этилового спирта в полупродуктах (готового продукта)»;
- 2) повысить среднее содержание спирта в бражном дистилляте. Повышение спирта в бражном дистилляте обеспечит наиболее эффективную работу эшюраторной колонны. В результате увеличится содержание спирта в эшюрате, а питание ректификационной колонны эшюратором повышенной крепости обеспечит ей наиболее технологически рациональный режим работы, который приведет к росту производственной мощности отделения брагоректификации на 5–6 %.

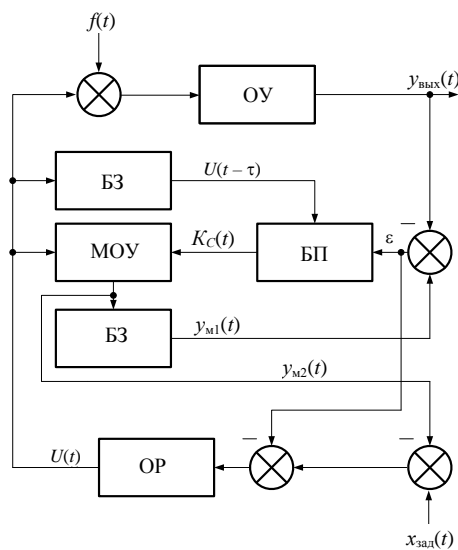


Рис. 2. Структурная схема АСАУ, синтезированная методом функционала Ляпунова – Крассовского: ОР – основной регулятор; $K_c(t)$ – перестраиваемый коэффициент усиления; ОУ – объект управления с временным запаздыванием τ ; БЗ – блок задержки; МОУ – модель ОУ без запаздывания; БП – блок подстройки; $x_{зад}(t)$ – вход ОУ; $y_{вых}(t)$ – выход ОУ; $y_{м1}(t)$ – то же модели ОУ с временным запаздыванием; $y_{м2}(t)$ – 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. Кузьмицкий, 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