

УДК 631.3; 519.71

С.А. Ляшенко, А.С. Ляшенко, И.С. Беляева

О НЕКОТОРЫХ ПОДХОДАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АСУТП САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Введение. Производство сахара является одной из важнейших перерабатывающих отраслей пищевой промышленности Украины. В условиях рыночной экономики, для сахарного производства, характерны следующие направления развития: повышение качества и количества продукции за счет использования мощностных показателей производства и внедрения эффективных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), повышение требований к безопасности технологических процессов и защите окружающей среды, а также обеспечение энергосберегающих технологий [1].

Сахарное производство базируется на непрерывности технологического процесса с использованием непрерывно действующего оборудования, что создает предпосылки для комплексной и полной автоматизации технологического процесса [2].

Рост производительности труда на сахарных заводах, увеличение мощности оборудования, разработка новой технологии, направленной на улучшение качества и повышение эффективности свеклосахарного производства, требуют непрерывного обновления и совершенствования средств автоматизации и систем управления.

Автоматизация технологических процессов является едва ли не решающим фактором повышения производительности и улучшения условий труда, а также улучшения экономических показателей сахарного завода. Вместе с тем, внедрению автоматизации предшествует большая и трудоемкая подготовительная работа, связанная с капитальными затратами. С учетом этого, прежде всего и определяется экономическая целесообразность автоматизации.

Анализ состояния вопроса. Производство сахарной продукции – сложный технологический процесс, в котором задействовано большое количество разнообразного оборудования [1,2]. Основными этапами производства сахарной продукции являются подача свеклы, мойка, диффузия, дефекосатурация, выпарка, кристаллизация и сушка сахара [2].

Производственные участки диффузии, дефекосатурации, выпарки и кристаллизации являются наиболее важными с точки зрения внедрения эффективных автоматизированных систем управления технологическими процессами, так как от их работы зависит выход качественной продукции.

Для получения эффективной системы управления технологическими процессами необходима информация об объекте исследования. Определение оптимальных условий работы и параметров технологических режимов, позволяющих получить максимальный выход продукции и повысить эффективность производства, является основной задачей АСУТП.

Сегодня, существующие целевые комплексные программы автоматизации пищевой промышленности предусматривают обеспечение следующих технико-экономических показателей: увеличение годового объема выпуска продукции; снижение себестоимости продукции в результате сокращения расхода сырья, материалов, энергетических и трудовых затрат; увеличение выхода продукции.

Выбор и обоснование критерия оптимальности является одним из ответственных этапов при моделировании экономически эффективного сахарного производства. Даже при самой очень тщательной отработке систем переменных и условий – ограничений модели, самом хорошем обеспечении адекватности модели реальным условиям неудачный выбор критерия оптимальности может привести к неудовлетворительным решениям.

Математическая формализация экономических задач предполагает, что цель обязательно выражается количественным показателем (объем производства в натуре или стоимостном выражении стоимость товарной продукции, чистый доход или прибыль, материальные-денежные затраты и т.д.). В результате решения оптимизационной задачи такой вариант, который обеспечивает достижение экстремального (максимального или минимального) значения выбранного показателя, отражающего реализацию поставленной цели. Этот показатель и является критерием оптимальности [3].

Аналитическая форма выражения критерия оптимальности является целевой функцией (функционалом, функцией цели) экономико-математической модели. Экономико-математические методы применимы к частным технико-экономическим задачам, в частности сахарное производство).

Для оптимизации работы сахарного производства необходимо определить те основные критериальные параметры, которые в наибольшей мере влияют на эффективность и выход сахарной продукции.

В случае, когда возникает необходимость при изучении объекта исследования анализировать более двух критериев оптимизации, то производится решение компромиссной задачи. В этих условиях ведется поиск компромисса между этими критериями оптимизации, так как на экстремум для одной поверхности

отклика налагаются ограничения другими.

В основном компромиссные задачи решаются с помощью вычислительной математики – методом неопределенных множителей Лагранжа. Решение этих задач можно осуществлять и с помощью двумерных сечений, когда одновременно рассчитываются два критерия оптимизации и составляются два уравнения регрессии. Но в основном исследователи стараются определить наиболее важный и обобщенный критерий, который учитывал бы все оптимальные режимы и параметры работы.

Вопросам оптимизации сахарного производства посвящено достаточно много, как теоретических, так и прикладных исследований. Основными критериями управления в этих работах, в основном, являются [3,4,5,6,7]: увеличения выхода сахарной продукции; снижение удельного расхода энергозатрат, других материалов и потерь. Следовательно, для обеспечения процесса управления технологическим процессом, согласно представленным основным критериям, необходимо иметь данные о самом процессе. Проведенный анализ производства сахара показывает, что в технологическом процессе может использоваться широкий спектр показателей, характеризующих свойства этого процесса, но в большинстве своем все сводится к регулируемому поддержанию технологических параметров, расходам сока, пара, воды, извести, газа, а также температуры, давления и т.д.

Цель работы. Определение экономической эффективности сахарного производства и установление общей критериальной взаимосвязи между основными рабочими диагностическими параметрами в АСУТП сахарного завода.

Экономические критерии. Критерии оптимизации производства подразделяются на: технико-экономические (производительность, надежность и т.д.); экономические (прибыль, рентабельность и т.д.); технико-технологические (качество, выход продукции и другие) [4].

Для оценивания работы завода могут использоваться следующие показатели эффективности:

- производительность;
- себестоимость;
- прибыль;
- материальные затраты на единицу продукции;
- коэффициент извлечения сахара из свеклы;
- удельные затраты различных материальных ресурсов в процентах к массе свеклы и сахара.

Прибыль сахарного завода с учетом сезонной работы, определяется по формуле

$$\Pi = \int_{\tau_1}^{\tau_2} (B \cdot U_0 + G_m \cdot U_m + G_{жс} \cdot U_{жс} - \sum_{i=1}^8 Z_i) \cdot d\tau, \tag{1}$$

где Π - прибыль, грн; B - выход товарного сахара т/ч; $U_0, U_m, U_{жс}$ - оптовая цена сахара, мелассы и жома соответственно, грн/т; $G_m, G_{жс}$ - потери мелассы и жома, т/ч; $\sum_{i=1}^8 Z_i$ - суммарные потери, грн/ч (Z_{1-8} - потери на сырье, дополнительные материалы, топливо, электроэнергию, на зарплату, на эксплуатацию оборудования, на цеховые и общие затраты по заводу).

Общий вид расчета экономического эффекта от внедренных инженерных решений, согласно [3], определяется по формуле

$$E = [(Z_1) - (Z_2)] \cdot A_2, \tag{2}$$

где E - годового экономического эффект, грн.; $Z_{1,2}$ - приведенные затраты на единицу продукции (работы), производимой с помощью базовой и предложенной АСУ ТП, грн.; $A_{1,2}$ - годовой объем производства продукции (работы) полученный при работе базовой АСУ ТП (A_1).

Экономический эффект определяется на основе сопоставления приведенных затрат по базовой и предложенной инженерной разработке.

Приведенные затраты $Z_{1,2}$ можно представить следующим выражением

$$Z_{1,2} = C_{1,2} + E_n \cdot K_{1,2} \tag{3}$$

где C - себестоимость единицы продукции (работы), грн.; K - удельные капитальные вложения, грн.; E_n - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Подставляя (3) в (2) получим годового экономического эффект в следующем виде

$$E = [(C_1 + E_n \cdot K_1) - (C_2 + E_n \cdot K_2)] \cdot A_2, \tag{4}$$

При расчете экономической эффективности необходимо учитывать разность цен в сравниваемые годы, т.е. индекс потребительских цен. Поэтому в формулу (4) необходимо ввести этот показатель, в

результате чего формула принимает вид:

$$E = [(C_1 + E_n \cdot K_1) \cdot I - (C_2 + E_n \cdot K_2)] \cdot A_2, \quad (5)$$

где I - индекс инфляции потребительских цен; $C_{1,2}$ - себестоимость, грн.

Общим для выражений (1) и (5) является то, что все эти составляющие влияют на получаемую прибыль и экономический эффект предприятия, являющимся экономическим критерием оптимизации. Техничко-экономические и технико-технологические критерии также могут использоваться в сахарном производстве и выражаться через стоимостную величину (грн.). Кроме того, необходимо отметить, что все этих критериях оптимизации используется обобщающий показатель – себестоимость.

Технологические критерии. Для получения эффективного производства, использующего АСУТП, которые базируются на современных компьютерных технологиях, необходимо знание критериальной зависимости между диагностическими и регулировочными параметрами производственного процесса. Технологические процессы в сахарном производстве основаны на законах сохранения тепла и массы, применяемых к тепло и гидротехническим процессам, происходящим при переработке сахарной продукции [2,8,9].

По закону сохранения массы, количество поступающих веществ в агрегаты и оборудование, где осуществляется переработка продукции сахарного производства $\sum G_n$, должна равняться количеству отводимых $\sum G_k$, получаемых в результате проведения процесса, с учетом потерь $\sum G_n$:

$$\sum G_n = \sum G_k + \sum G_n \quad (6)$$

Частью энергетического баланса является тепловым, который в общем можно представить в виде:

$$\sum Q_n = \sum Q_k + \sum Q_n \quad (7)$$

При этом количество вводимого тепла определяется соотношением

$$\sum Q_n = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (8)$$

где Q_1 - количество тепла, вводимое с исходными веществами; Q_2 - количество тепла, подводимого извне, например с теплоносителем, обогревающим аппарат; Q_3 - тепловой эффект физических и химических превращений [2].

Количество отводимого тепла $\sum Q_k$ складывается из тепла, удаляемого с конечным продуктом и отводимым с теплоносителем, а также тепловых потерь $\sum Q_n$.

Все основные участки завода состоят из оборудования и аппаратов, в которых осуществляется тепло и массообменные процессы (диффузионная установка, преддефекатор, подогреватели, сатураторы, дефекаторы, выпарные установки, вакуум-аппараты и центрифуги).

Количество тепла, которое вводится с исходными веществами, подводится извне, получаемое при химических превращениях, а также которое отводится или выпадает в осадок, представляется в общем виде следующим выражением [2,8]:

$$Q = GC\theta \quad (9)$$

где G, C, θ - расход, теплоемкость и температура рассматриваемых растворов.

Для установившихся тепловых процессов основное уравнение теплопередачи имеет вид [2]:

$$Q = \kappa \cdot F \cdot \Delta\theta, \quad (10)$$

где κ - коэффициент теплопередачи $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$; F - площадь сечения, через которое проходят сок пар $м^2$; $\Delta\theta$ - разность температур $^\circ C$

После определения основных математических выражений и их составляющих для процессов с массо- и теплопереносом, можно применить Пи-теорему. Пи-теорема исходит из положения, что всякое физически обоснованное соотношение между размерными величинами можно сформулировать и представить как соотношение между безразмерными величинами – параметрами, которые в подобных системах могут играть роль критериев подобия [9].

Всякое уравнение вида

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = 0, \quad (11)$$

выражающее связь между n размерными физическими величинами, размерность которых определяется через m основных величин (массу, длину, время и т.д.), может быть преобразовано в уравнение

$$F(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}) = 0, \tag{12}$$

где π - независимые безразмерные комплексы, выражающие связь между $(n-m)$ физическими величинами. Они составлены из $(m+1)$ величин из числа входящих в уравнение (12).

Исходя из анализа, делаем вывод, что процессы переработки в сахарном заводе характеризуется следующими основными величинами: расход сока и пара - $G, \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \text{ или } \frac{\text{м}^3}{\text{с}}\right)$; площадь сечения трубопроводов - $F, (\text{м}^2)$; температура - $\theta, (^\circ\text{C})$; теплоемкость - $C, \left(\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$; коэффициент теплопередачи - $\kappa, \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$ или $\left(\frac{\text{кг}}{\text{с}^3 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$; время осуществления процесса - $T, (\text{с})$.

Так как, при переработке продукции температурные режимы должны быть постоянными, температуру можно не принимать во внимание.

Основными диагностическими и регулировочными параметрами, имеющими место в материальном и тепловом балансах, которые характеризуют происходящие там процессы, являются расход, площадь и время.

Для поддержания нормального режима работы на всех участках завода в основном осуществляют регулировку технологического процесса за счет изменения подачи сырья или пара путем изменения сечения трубопроводов. Необходимая температура при процессе переработки сырья также обеспечивается путем изменения площади сечения подводящих трубопроводов, через которые поступает сырье и пар.

Определим критериальные соотношения между этими величинами. Основным связующим и регулируемым критерием, который описывает эти процессы, является тепло Q . Тепло можно представить как функцию представленных параметров:

$$Q = f(G, F, T, C, K), \tag{13}$$

или $f(G, F, T, C, K) = 0$.

Выбор схем автоматизации. Рассмотренные выше экономические и технологические критерии справедливы для всех производственных отделений сахарного завода. Использование данных критериев позволило разработать конкретные схемы автоматизации и выбрать необходимые технические средства.

На основании выбранных критериев были разработаны автоматизированные схему управления основных производственных участков сахарного завода. В качестве примера реализована схема автоматизации диффузионного отделения, которая представлена на рисунке 1.

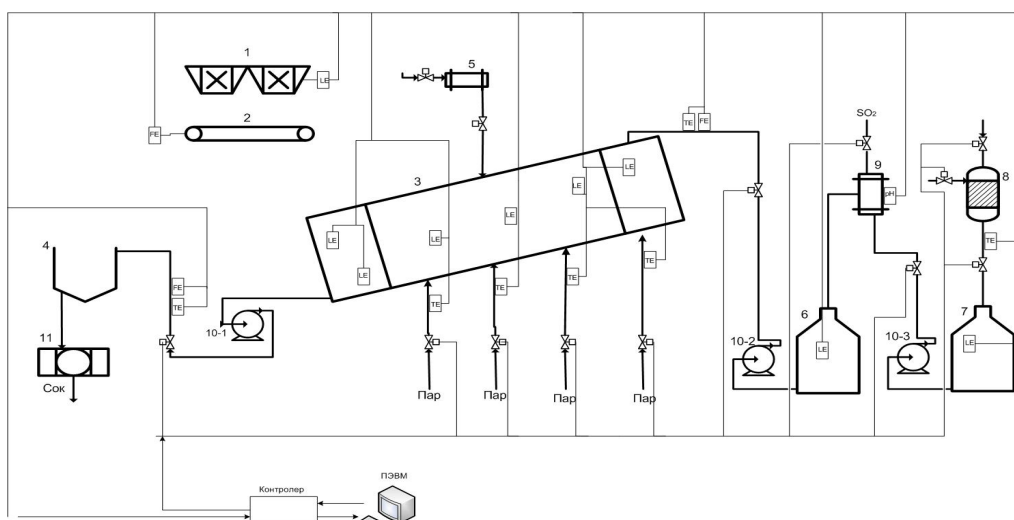


Рис. 1. Схема автоматизации диффузионного отделения сахарного завода: 1 – свеклорезки с бункером свеклы; 2 – ленточный конвейер; 3 – диффузионный аппарат; 4 – бункер диффузионного сока; 5 – печь; 6 – сборник барометрической сульфитированной воды; 7 – сборник барометрической воды; 8 – подогреватель воды; 9 – сульфитатор; 10-(1,2,3) – насосы; 11 – пульполовушка; LE - уровнемер; FE- расходомер; ТЕ- датчик температуры; pH – pH-метр.

Остальные схемы автоматизации отделений сахарного завода разработаны аналогично.

Выводы. Внедрение современных систем управления позволит поддерживать оптимальный технологический режим работы, эффективно контролировать и влиять на изменение параметров технологического процесса, а также сократить численность обслуживающего персонала, что ведёт к снижению себестоимости продукции. Установлена взаимосвязь между экономическими показателями эффективного автоматизированного сахарного производства и техническими и технологическими показателями процесса получения сахарной продукции.

Были определены основные диагностические и регулировочные параметры, которые используются в АСУТП и влияют на эффективность работы сахарного завода. Этими показателями являются: расход сока и пара, температура, время осуществления процесса, площадь сечения трубопроводов, теплоемкость, коэффициент теплопередачи. Определен основной связующий критерий для этих показателей – расход при определенной температуре, и получена критериальная зависимость между основными показателями, характеризующими технологический процесс. Полученная критериальная зависимость позволяет получить обобщенную математическую модель, характеризующую взаимосвязь между основными показателями производственного процесса.

Использование данных критериев позволяет выбрать эффективные схемы автоматизированного управления и существующие технические средства.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Стратегия автоматизации производства сахара [Электронный ресурс] / Белоусов В.Ю., Литвинов А.Ф., Потапов О.А., Горчинский Ю.Н. // Сахар. - 2002. - №1. - Режим доступа до журн.: <http://www.loes.ru/main/technology/tech-map.html>.
2. Горбатюк В.И. Процессы и аппараты пищевых производств / В.И. Горбатюк – М.: Колос, 1999. – 335с.
3. Гагаулин А.М. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве / А.М. Гагаулин – М.: ВО Агропромиздат, 1990. – 431с.
4. Луцька Н. М. Дослідження та синтез оптимальних регуляторів для систем автоматизації технологічних комплексів неперервного типу [Текст]. автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.07 / Н. М. Луцька. – Київ, 2006. - 158с.
5. Системы автоматизации технологических процессов сахарного производства [Электронный ресурс] / О. Яковлев, С. Танцора, А. Войтюк, Ю. Рудаков, С. Лагышев, В. Волков, М. Рак, Н. Круглый // Пищевая промышленность. -2000. - №1.- С. 44-53. Режим доступа до журн.: <http://www.cta.ru/cms/f/3666648.hdf>.
6. Ляшенко С.А. Определение критериальной связи между основными показателями работы выпарной установки / С.А. Ляшенко, А.М. Фесенко. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні». Харків. Вип. 101.-2010. - С.82-88.
7. Ляшенко С.А., Определение структурной зависимости основных технологических показателей в автоматизированной системе управления сахарного завода заводов / С.А. Ляшенко, А.С. Ляшенко, И.С. Беляева. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. “Механізація сільськогосподарського виробництва”. – Харків, Вип. 135. 2013. – С. 498-506.
8. Дідур В.А. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві / В.А. Дідур, М.І. Стручаєв (За заг. Ред. В.А. Дідура). – К.: Аграрна освіта, 2008. – 233с.
9. Справочник по гидравлическим расчетам /под ред. П.Г. Киселева. изд. 4-е переработ. и доп. - М.: Энергия, 1972. - 312с.

ЛЯШЕНКО Сергей Алексеевич. Кандидат технических наук, доцент, кафедра “Безопасность жизнедеятельности”, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко (ХНТУСХ им. П. Василенка).

Научные интересы: моделирование процессов технических систем на основе нейронных сетей.

ЛЯШЕНКО Алексей Сергеевич. Кандидат технических наук, доцент, кафедра ЭВМ Харьковский национальный университет радиоэлектроники (ХНУРЭ).

Научные интересы: автоматизированные системы управления, SCADA.

БЕЛЯЕВА Ирина Сергеевна. Специалист 1-й категории, ННИ ДЗН Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко (ХНТУСХ им. П. Василенка).

Научные интересы: моделирование систем управления.