



Системы автоматизации технологических процессов сахарного производства

Олег Яковлев, Станислав Танцюра, Александр Войтюк, Юрий Рудаков, Сергей Латышев, Владимир Волков, Михаил Рак, Николай Круглый

Рассматриваются технические средства и программное обеспечение, предназначенные для контроля, учета, регистрации и регулирования параметров технологических процессов сахарного производства.

Сахарная промышленность стран СНГ переживает сегодня не лучшие свои времена: сокращение посевов свеклы и низкое ее качество при минимальной урожайности, высокие цены на энергоносители и изношенное, морально устаревшее оборудование приводят к высокой себестоимости отечественного сахара, к тому же ощущается мощное давление тростникового сахара-сырца, производимого странами Латинской Америки.

Где же выход из сложившейся ситуации? Несомненно, применение современных технологий выращивания свеклы, замену технологического оборудования новым, как отечественным, так и зарубежным, делать необходимо, и это уже делается. Но это требует солидных капитальных вложений и довольно продолжительного времени. Как улучшить качество сахара и снизить его себестоимость уже сейчас и без больших капитальных вложений? Одно из решений этой задачи — внедрение систем автоматизации технологических станций сахарного производства и создание единой системы управления потоками сахарного производства и его энергозатратами.

При относительно небольшой стоимости систем автоматизации и быстром их внедрении (полгода-год с момента заключения договора до ввода в эксплуатацию) такие системы позволяют сократить энергопотребление на 10-15%, уменьшить потери сахара и улучшить качество выпускаемого продукта.

Основным устройством, позволяющим создать высоконадежную, современную систему автоматизации технологического процесса является промышленный контроллер, имеющий высокие технические и эксплуатационные характеристики.

В первом ряду таких контроллеров находятся применяемые нами контроллеры MicroPC фирмы Octagon Systems (США), которые, благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам, открытой архитектуре, высокой надежности и полной IBM PC совместимости, достигают приемлемого для отечественного потребителя уровня по критерию «цена — производительность» и обеспечивают решение практически любых задач автоматизации в различных отраслях (журнал «СТА» 1/96, стр. 16-20, 42-43).

Разработанное ООО «ВИОЛ-2» программное обеспечение позволяет управлять в реальном масштабе време-

ни технологическим процессом, а также выполнять визуализацию технологического процесса на экране ПЭВМ. Пользовательская программа, загруженная в контроллер, дает возможность реализовать многозадачные алгоритмы управления любой сложности. Пакет верхнего уровня поддерживает сетевые функции, что позволяет объединять ПЭВМ систем автоматизации отдельных технологических станций в сеть.

Первичные преобразователи и приборы с высокими точностными и эксплуатационными характеристиками как собственного производства, так и покупные, дающие возможность иметь достоверные значения контролируемых параметров технологического процесса в совокупности с надежными исполнительными механизмами — шаровыми кранами и дисковыми затворами собственного производства, позволяющими оперативно и эффективно влиять на изменения параметров технологического процесса, делают системы автоматизации технологических процессов функционально завершенными и высоконадежными.



ЗАО «Кристалл-Бел» (Белгородская обл.)

Такие системы автоматизации разработаны, изготовлены и введены в эксплуатацию ООО «ВИОЛ-2» на более чем 10 сахарных заводах в России, Молдове и Украине.

Пользователи по достоинству оценили функциональные возможности и экономическую эффективность внедренных систем автоматизации основных технологических станций.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ДИФфуЗИОННОЙ УСТАНОВКИ

Диффузионные аппараты предназначены для извлечения сахара из свекловичной стружки методом проти-

воточной диффузии. Аппараты конструктивно выполнены в виде наклонного корытообразного (или колонного) корпуса, внутри которого вращаются два продольных шнека (для колонного аппарата — один шнек), транспортирующих вверх по аппарату свекловичную стружку, навстречу которой движется питающая вода.

Система автоматизации диффузионной установки включает в себя датчики уровня, температуры, токовой нагрузки, рН-метры (приборы для определения электрометрическим методом концентрации ионов водорода, характеризующей интенсивность протекания процессов и реакций), рефрактометр, расходомеры, преобразователи оборотов, запорно-регулирующую арматуру (шаровые краны и дисковые затворы), пневмоэлектро- и электропневмопреобразователи, контроллер на базе MicroPC и ПЭВМ IBM PC.

Алгоритм управления диффузионной установкой позволяет:

- стабилизировать расход стружки при автоматическом управлении свекло-резками и контроле уровней в бункере;
- оптимизировать процесс экстракции (вымывания водой сока из растительных клеток свекловичной стружки);
- эффективно управлять гидродинамическим и температурным режимом диффузионной установки;
- рационально проводить подготовку питательной воды.

При введении в эксплуатацию системы автоматизации диффузионной установки экономический эффект достигается:

- за счет повышения производительности диффузионной установки;
- за счет увеличения содержания сахара в диффузионном соке.

Структурная схема системы автоматизации диффузионной установки представлена на рис. 1.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ СТАНЦИИ ДЕФЕКОСАТУРАЦИИ

Аппараты станции дефекосатурации предназначены для обработки диффузионного сока известью, насыщения обработанного сока углекислым газом и фильтрации образовавшегося осадка. Конструктивно аппараты соответствуют трем ступеням обработки диффузионного сока:

1-я ступень — аппараты предварительной дефексации и предварительной сатурации;

2-я ступень — аппараты основной дефексации и I сатурации;

3-я ступень — аппараты дефексации II ступени и II сатурации.

Кроме того, станция включает в себя аппараты фильтрации, которые устанавливаются после 2-й и 3-й ступеней обработки сока.

Система автоматизации станции дефекосатурации включает в себя: датчики уровня, давления, температуры,

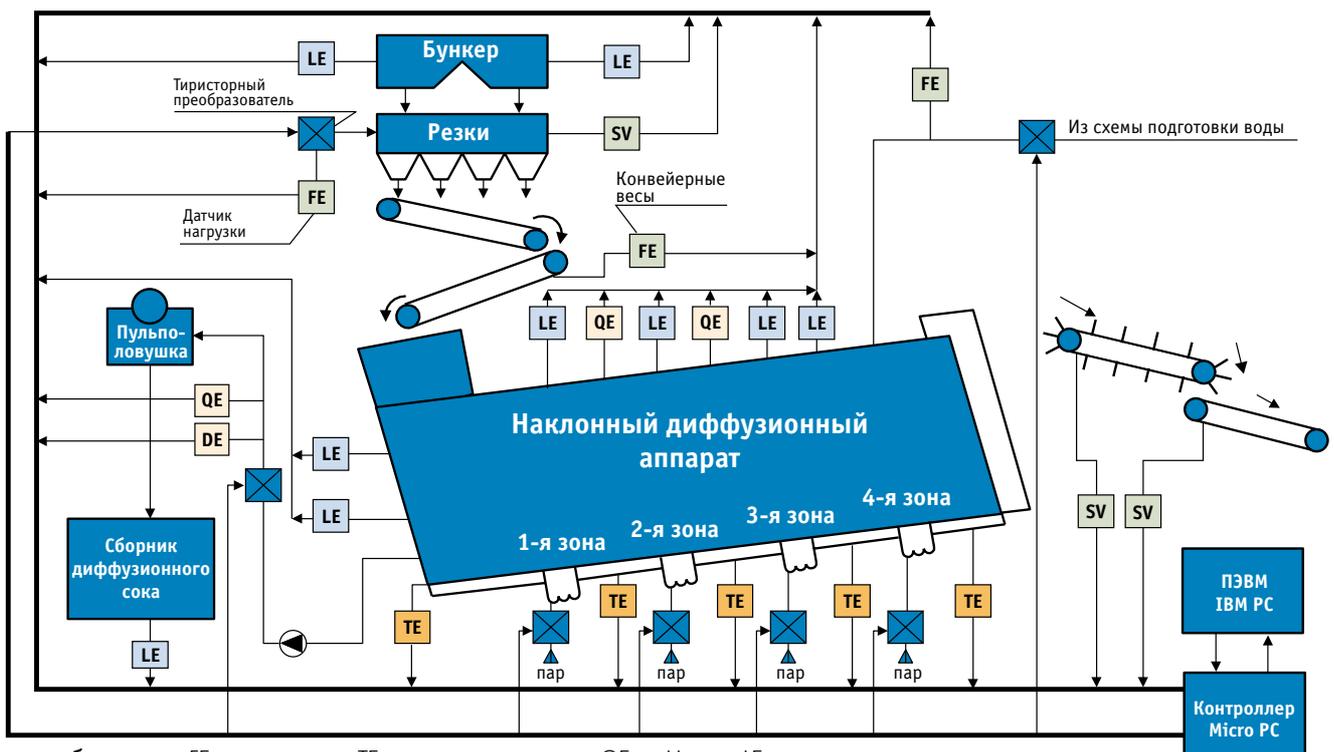
рН-метры, рефрактометр, газоанализатор, расходомеры, запорно-регулирующую арматуру (шаровые краны и дисковые затворы), пневмоэлектро- и электропневмопреобразователи, контроллер на базе MicroPC и ПЭВМ IBM PC.

Алгоритм управления очисткой сока позволяет:

- стабилизировать поток сока по аппаратам станции дефекосатурации;
- упорядочить систему распределения известкового молока по потребителям при применении замкнутой системы распределения известкового молока с регулируемым давлением и установкой шаровых кранов отбора перед расходомерами, а также ввести коррекцию расхода СаО по его плотности и по СВ (сырому веществу) диффузионного сока;
- оптимизировать подачу сатурационного газа в котлы I и II сатурации за счет поддержания давления в коллекторе газа, контроля CO_2 в составе газа, поддержания рН (это отрицательный логарифм концентрации ионов водорода) сока I сатурации с точностью не хуже 0,2 единицы, рН сока II сатурации — не хуже 0,1 единицы.

При введении в эксплуатацию системы автоматизации станции дефекосатурации экономический эффект достигается:

- за счет повышения эффекта очистки сока;



Условные обозначения: FE — расходомер, TE — датчик температуры, QE — рН-метр, LE — датчик уровня, SV — преобразователь оборотов, DE — рефрактометр.

Рис. 1. Система автоматизации диффузионной установки

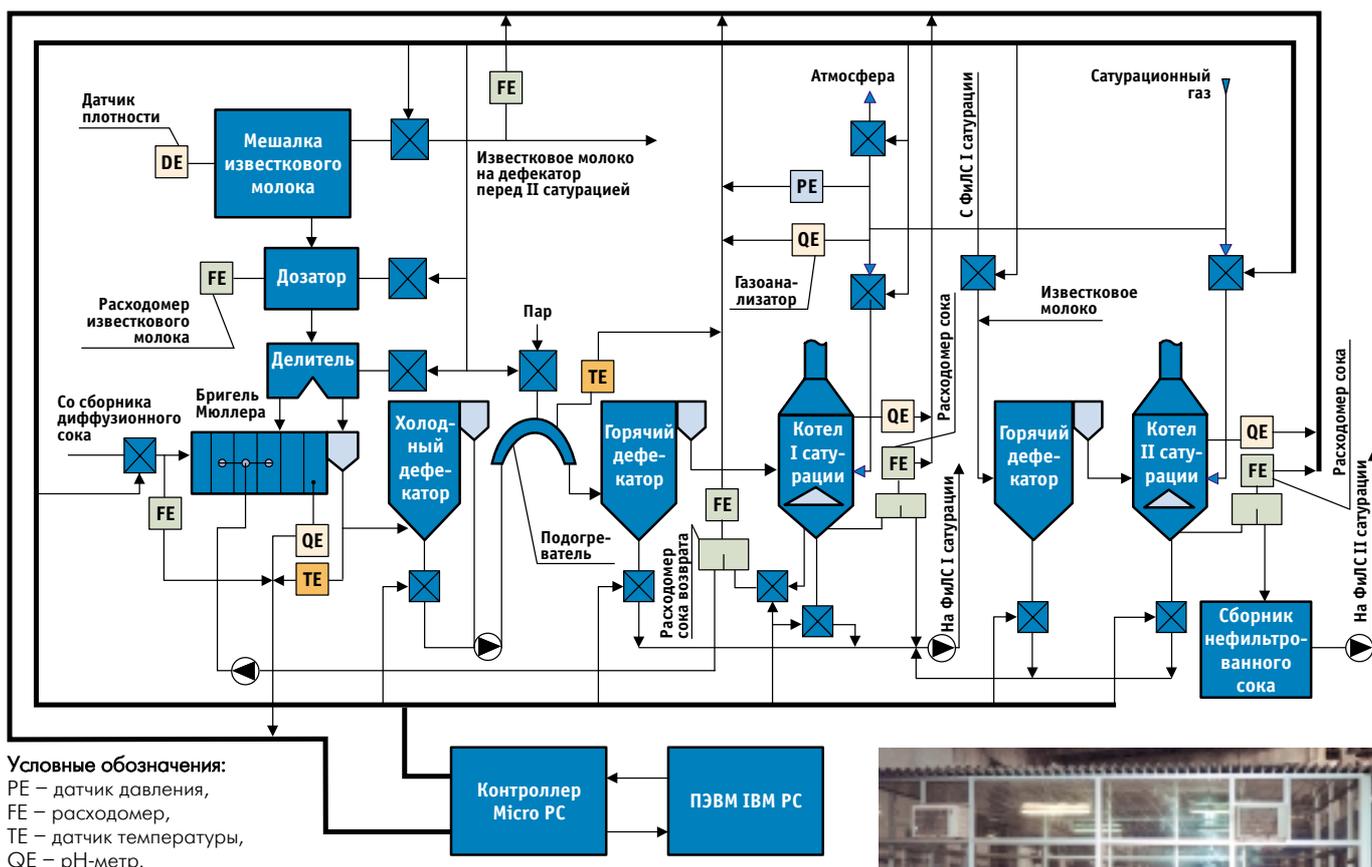


Рис. 2. Система автоматизации станции дефекоосатурации

- за счет снижения расхода CaO для очистки сока при регулировании его подачи с коррекцией по СВ сока;
- за счет снижения расхода пара в связи с уменьшением содержания растворимых солей кальция в соке.

Структурная схема системы автоматизации станции дефекоосатурации представлена на рис. 2.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫПАРНОЙ СТАНЦИИ

Выпарные аппараты предназначены для сгущения свековичного сока путем выпаривания из него воды. Для экономии топлива выпарная станция конструктивно выполняется в виде 5 последовательно подключенных выпарных аппаратов, в результате чего пар, полученный от кипения сока в I корпусе, собирается в колпаке этого корпуса и переходит в паровую камеру II корпуса и т.д.

Система автоматизации выпарной станции включает в себя датчики уровня, давления, разрежения, температуры, pH-метры, рефрактометр, расходомеры, запорно-регулирующую арматуру (шаровые краны и дисковые затворы), пневмоэлектро- и электропневмопреобразователи, контроллер на базе MicroPC и ПЭВМ IBM PC.

Алгоритм управления выпарной станцией позволяет:

- стабилизировать поток сока по корпусам выпарной станции;
- оптимизировать подачу ретурного пара и распределение потребителей экстра-паров по результатам теплового расчета для четкого поддержания соотношения сок-пар и температурного режима.

При введении в эксплуатацию системы автоматизации выпарной станции экономический эффект достигается за счет экономии ретурного пара, обеспеченной оптимальным выпариванием по корпусам выпарной станции и поддержанием соотношения сок-пар.

Структурная схема системы автоматизации выпарной станции представлена на рис. 3.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ВАКУУМ-АППАРАТОВ

Вакуум-аппараты являются аппаратами периодического действия с естественной или принудительной циркуляцией и предназначены для сгущения сиропа до состояния пересыщенности, когда из него выкристаллизовывается сахароза, а несахара остаются в межкристалльном растворе. Утфель — смесь кристаллов сахара и межкристалльного раствора — из вакуум-аппарата подается в центрифугу, где разделяется на сахар-песок и отек.



Объединенный пункт управления диффузионной установкой, выпарной станцией и станцией дефекоосатурации (ЗАО «Кристалл-Бел»)

Система автоматизации вакуум-аппаратов включает в себя датчики разрежения, уровня, температуры, кондуктометр, вискозиметр, запорно-регулирующую арматуру — шаровые краны и дисковые затворы, пневмоэлектро- и электропневмопреобразователи, контроллер на базе MicroPC и ПЭВМ IBM PC.

- Алгоритм варки сахара позволяет:
- рационально производить наполнение аппаратов и сгущение продуктов;
 - оптимизировать процесс кристаллообразования и закрепления кристаллов;



Датчики и исполнительные устройства системы автоматизации вакуум-аппарата

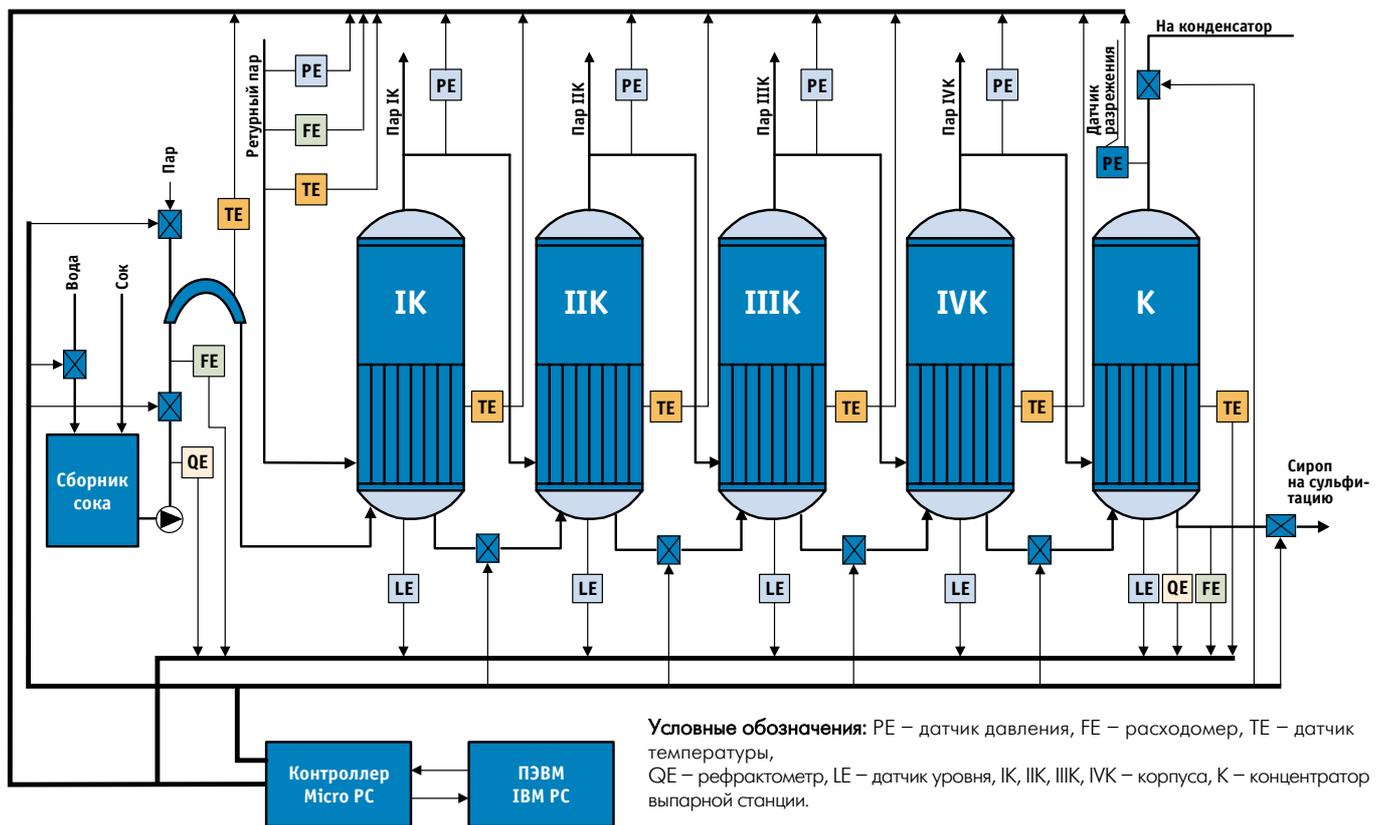


Рис. 3. Система автоматизации выпарной станции

- поддерживать соответствие скоростей роста кристаллов и испарения воды, что обеспечивает максимальную продуктивность процесса при исключении образования «муки»;
- вводить блокировки внештатных ситуаций.

При введении в эксплуатацию системы автоматизации вакуум-аппаратов экономический эффект достигается:

- за счет сокращения времени уваривания утфеля и, как следствие, экономии топлива;
- за счет улучшения гранулометрии сахара и, как следствие, сокращения потерь сахара при его сушке и при промыве утфеля в процессе centrifугирования.

Структурная схема системы автоматизации вакуум-аппаратов представлена на рис. 4.

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Разработанное сотрудниками ООО «ВИОЛ-2» программное обеспечение систем автоматизации технологических процессов сахарного производства состоит из двух уровней.

Программное обеспечение нижнего уровня

Программное обеспечение нижнего уровня, функционирующее в контроллере, состоит из

- драйвера обмена информацией через COM2 MicroPC по протоколу RS-422;
- многозадачного монитора;
- программы обслуживания аналоговых и дискретных входов и выходов, регуляторов и т.п. элементов, описанных в виде базы данных;
- программы пользователя.

Драйвер обмена информацией обеспечивает:

- консольный ввод-вывод;
- передачу данных, полученных в результате обработки аналоговой и дискретной информации;
- занесение в энергонезависимое ОЗУ MicroPC в фоновом режиме новых программ и базы данных (входов или выходов, регуляторов и т.п.).

Многозадачный монитор функционирует под управлением MS-DOS и выполняет три задачи:

- собственно MS-DOS (или программу, запущенную под ней);
- программу просчета базы данных;
- программу пользователя, считанную из энергонезависимого ОЗУ.

Была полностью решена проблема нереентерабельности MS-DOS, что дает возможность программе пользователя применять любые библиотечные функции.

Программа обработки базы данных устройств осуществляет:

- взаимодействие с драйверами аналоговых входов или выходов;
- чтение или выдачу дискретных сигналов;
- расчет вычислительных блоков (ПИД-регуляторов, импульсных регуляторов, таймеров, блоков сравнения и т.д.)

База данных хранится в энергонезависимом ОЗУ и при старте процессора считывается в оперативную память, где и происходит ее обработка. Все изменения базы, производимые с ПЭВМ (например настройки регуляторов), заносятся как в энергонезависимое ОЗУ, так и в обычное, что позволяет сохранить настройки даже после выключения питания.

Программа пользователя представляет собой com или

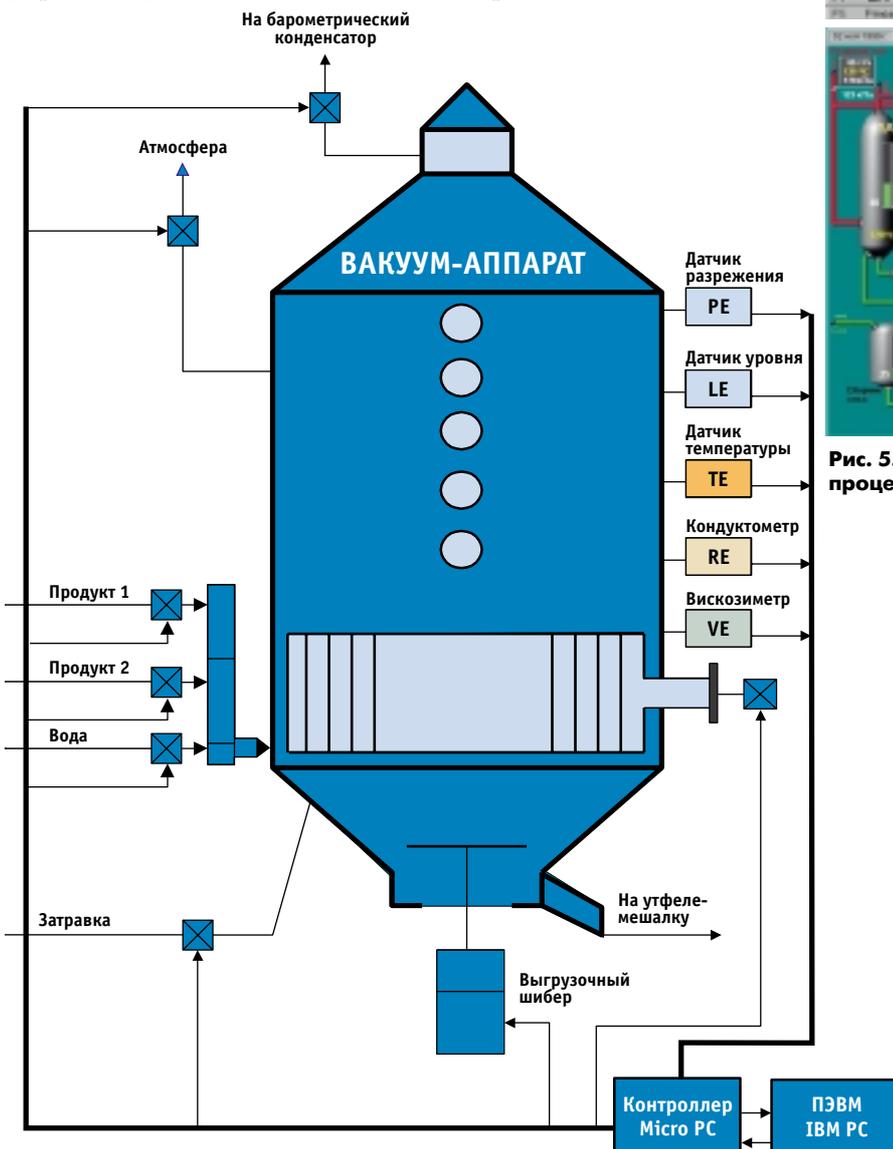


Рис. 4. Система автоматизации вакуум-аппарата

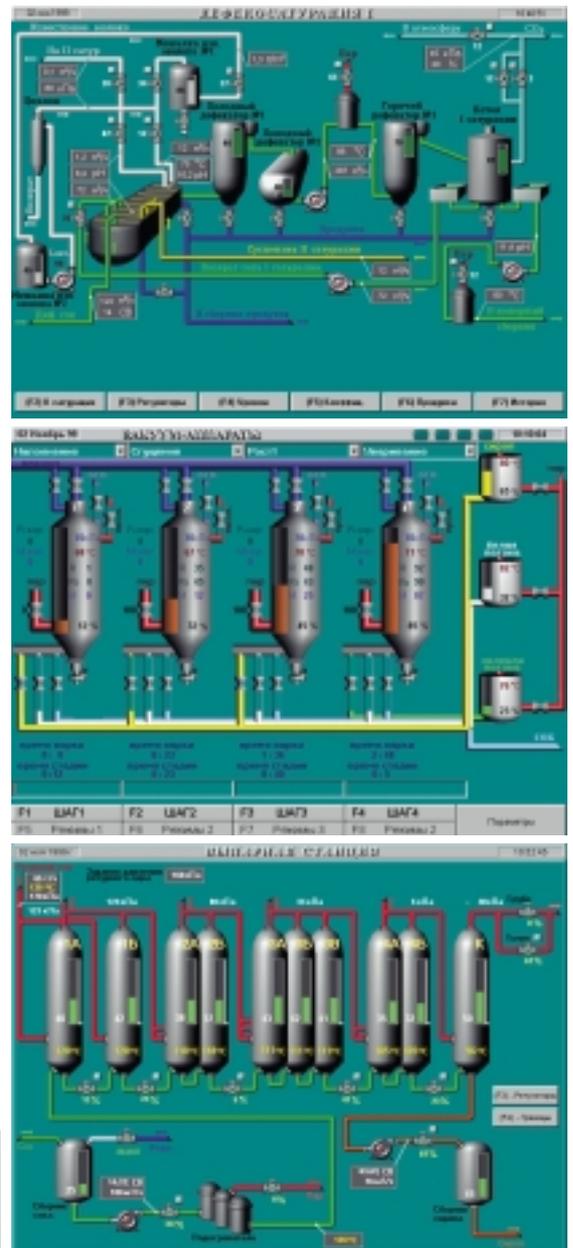


Рис. 5. Мнемосхемы участков технологического процесса

exe-файл, написанный на любом языке программирования, размером не более 64 кбайт. Программа хранится в энергонезависимом ОЗУ и при старте процессора считывается оттуда и запускается на выполнение. Возможна загрузка новой программы в энергонезависимое ОЗУ и ее рестарт.

Программное обеспечение верхнего уровня

Программное обеспечение верхнего уровня, функционирующее в ПЭВМ, представляет собой пакет программ, обеспечивающий

- создание и редактирование мнемосхем (рис. 5);
- формирование аварийных и технологических сообщений;
- формирование исторических трендов и отчетов;

- отображение информации в режиме реального времени.

Пакет программ написан для работы в среде Windows 95/98 и использует все возможности, предоставленные этой средой: графика, файловые операции, многозадачность и многопоточность, сетевые возможности.

Драйверы для обмена данными между ПЭВМ и одним или несколькими контроллерами оформлены в виде динамических библиотек DLL, что дает возможность изменять протоколы обмена без перекомпиляции основных модулей.

Сетевое программное обеспечение

При введении в эксплуатацию систем автоматизации отдельных технологических станций появляется возможность комплексной автоматизации всего завода за счет внедрения единой общезаводской информационной сети, обеспечивающей обмен и обработку информации отдельных подсистем. Программное обеспечение сетевого объединения рабочих станций построено на использовании сетевых возможностей Windows. Информация с рабочих станций поступает в сервер, который позволяет просматривать мнемосхемы всех рабочих станций и ведет собственную историю по всем станциям.

К серверу подключаются технологические станции, которые устанавливаются в кабинетах главных специалистов. С технологической станции осуществляется просмотр мнемосхем ра-

бочих станций, а также просмотр истории, хранящейся на сервере.

Имеется вариант сетевого обеспечения для случая, когда управление всем технологическим процессом завода производится с одной технологической станции, что позволяет оперативно управлять прохождением потоков продукции по станциям, согласуя их производственные возможности (мощности), и оптимизировать затраты сырья, материалов и энергоресурсов.

Кроме того, сетевой пакет позволяет представлять руководителям завода информацию о количестве произведенной продукции, затратах на единицу произведенной продукции: сырья, топлива, кокса, известкового камня, электрической и тепловой энергии по каждой смене и за любой промежуток времени (рис. 6).

КОНТРОЛЛЕР

Конструктивно контроллер выполнен в виде двух щитов: собственно щита контроллера и соединительного щита с габаритными размерами каждого 800 · 800 · 200 мм. Соединения между ними осуществляются кабелями с разъемными подключениями.

Такое техническое решение позволяет легко демонтировать контроллер и обеспечить его сохранность при сезонном производстве сахара.

Контроллер собран на базе микроконтроллера MicroPC 6040 в монтажном каркасе 5206-RM с использованием изделий фирм Octagon Systems, Advantech, Grayhill и Fastwel.

Структурная схема контроллера представлена на рис. 7, где:

- A1 — блок питания 5101,
- A2 — каркас монтажный 5206-RM,
- A3 — микроконтроллер 6040 PC,
- A4 — плата цифрового интерфейса 5600-96,
- A5 — программируемые модули ввода-вывода UNIO48-5,
- A6, A7 — платы 8-канальных ЦАП 5750-8,
- A8, A9 — аналоговые мультиплексоры MUX-16,
- A10 — клеммная плата для внешних устройств STB-26,
- A11, A12, A13 — клеммные платы для модулей развязки МРВ-24,
- A14 — изолированная плата интерфейсов PCL-745B,
- K1 — кабель СМА-20-24,
- K2,...K9 — кабели СМА-26-24.

На рис. 8 показан общий вид щита контроллера, установленного на рабочих станциях ЗАО «Кристалл-Бел» (Белгородская область).

РЕШЕНИЕ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

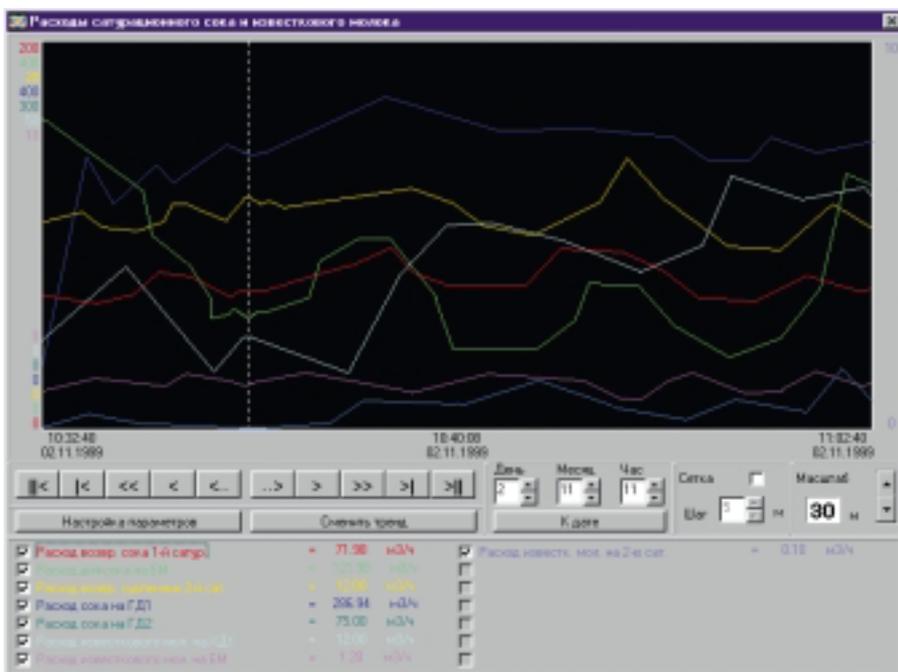
При разработке систем автоматизации удалось решить ряд алгоритмических задач, которые существенно улучшили качество технологических процессов.

Для диффузионной установки было найдено решение по стабилизации процесса сокодобывания и заданной производительности переработки свеклы на основе автоматического регулирования оборотов свеклорезок по определенному алгоритму.

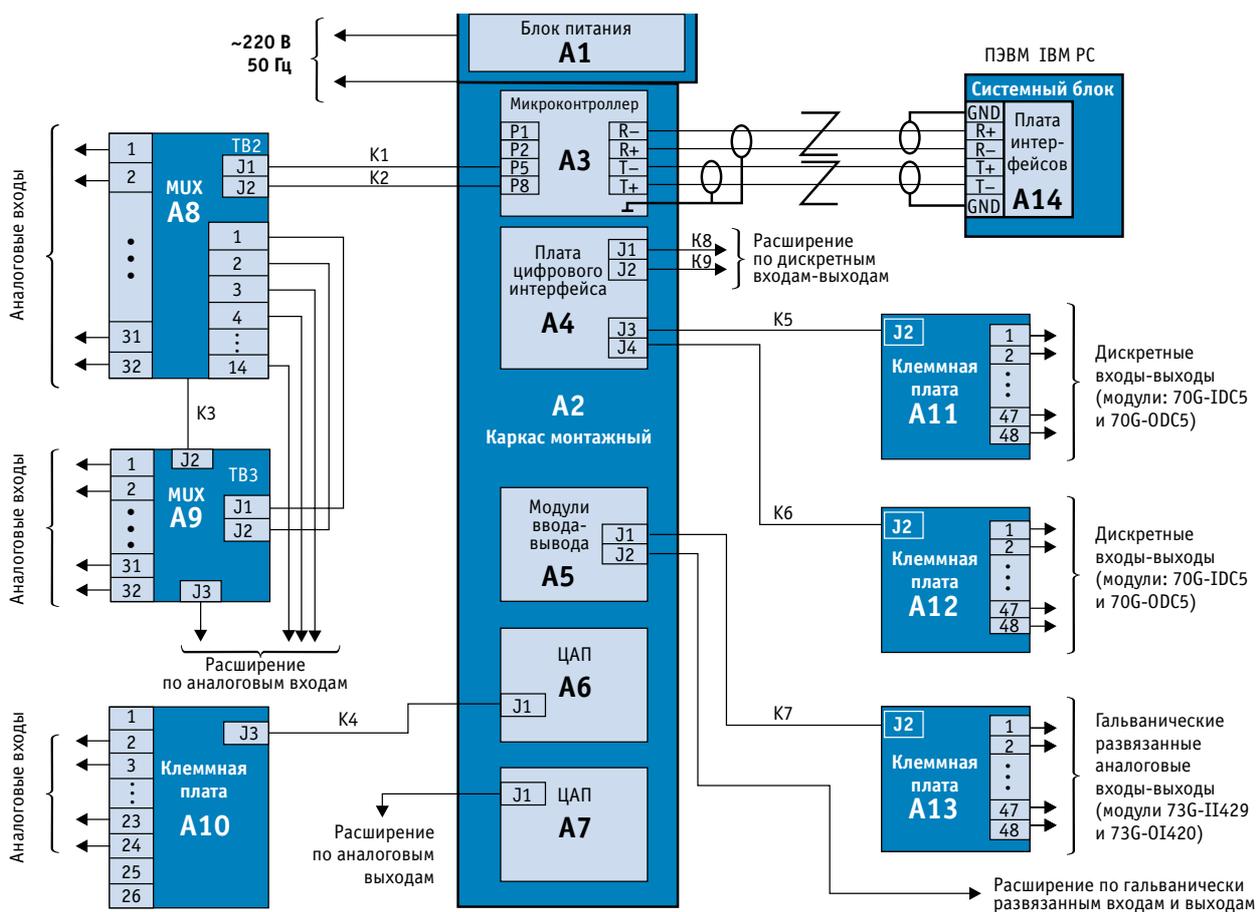
Это дало возможность реализовать алгоритм управления процессом сокодобывания, обеспечивающий минимально возможное время пребывания свекловичной стружки в аппарате, и строго выдерживать оптимальный уровень сока у сит, температурный режим, рН процесса, доброкачественность свекловичного сока.

Для станции дефекосатурации решена задача распределения известкового молока с коллектора под давлением по специальному алгоритму, позволяющему точно дозировать известковое молоко по аппаратам и не допускать залегаания извести на регулирующей арматуре и в подводящих трубопроводах.

Качество такого распределения (введенного в эксплуатацию в ЗАО «Кристалл-Бел» и АО «Лиски сахар») значительно превосходит качество работы



50 Рис. 6. Копия экрана с графиками расхода сырья и материалов



Условные обозначения: J1...J4 — разъемы на платах; P1...P8 — разъемы микроконтроллера; TB2, TB3 — клемники MUX-16.

Рис. 7. Структурная схема контроллера

широко применяемых на сахарных заводах в настоящее время дозаторов и делителей известкового молока.

Применительно к вакуум-аппаратам разработан и внедрен алгоритм поддержания соответствия скоростей роста кристаллов и испарения воды, обеспечивающий максимальную продуктивность процесса при исключении образования «муки» (очень мелких кристаллов).



Рис. 8. Общий вид щита контроллера

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Станция дефекосатурации

Предлагаемая система автоматизации станции дефекосатурации обеспечивает ожидаемый прирост эффекта очистки станции дефекосатурации 0,5 – 1,0%.

Повышение эффекта очистки на 5% соответствует повышению выхода сахара на 0,12 – 0,20% к массе свеклы (анализ потерь сахара по методике Бугаенко И.Ф.). Следовательно, выход сахара от внедрения системы автоматизации увеличится на 0,04% к массе свеклы, что для завода производительностью 3500 тонн в сутки при продолжительности сезона 100 дней составит 140 тонн сахара.

Выпарная станция

Суммарный экономический эффект внедрения системы автоматизации выпарной станции (Э) состоит из экономии ретурного пара, которая составит, как минимум, 5 тонн пара в час (Э1), уменьшения неучтенных потерь сахара от термического разложения (Э2) и сокращения времени уваривания утфеля при стабилизации СВ сиропа, как минимум, на 3% (Э3):

$$\text{Э} = \text{Э1} + \text{Э2} + \text{Э3}.$$

При стоимости 1 Гкал 5,2 долларов США (что определяется тарифами РФ на энергоносители, химочищенную воду, электроэнергию и т.п.) и периоде свеклопереработки 100 дней

$$\text{Э1} = 32573 \text{ доллара США}.$$

По методу Бугаенко И.Ф. (Бугаенко И.Ф. Анализ потерь сахара в сахарном производстве и пути их снижения.— М.: Агропромиздат, 1997) экономия за счет снижения неучтенных потерь сахара от термического разложения при

периоде свеклопереработки 100 дней и стоимости сахара 250 долларов за 1 тонну составит

$$\text{Э2} = 13125 \text{ долларов США}.$$

Экономия от сокращения времени варки утфеля определяется по формуле и исходным данным, рекомендованным институтом «Гипросахар»:

$$\text{Э3} = 4500 \text{ долларов США}.$$

Суммарный экономический эффект составит:

$\text{Э} = 32573 + 13125 + 4500 = 50198$ долларов США, что соответствует окупаемости капитальных вложений заказчика меньше чем за 2 сезона.

Вакуум-аппараты

Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле института «Гипросахар»:

$$\text{Э} = (Q_1/Q_0) \cdot ((N-V+1)/(N+1)) \cdot Q_m \cdot C_1 \cdot (M/n) \cdot (t/T) + (m/n) \cdot C_2 \cdot P,$$

где:

Э — годовой экономический эффект (доллары США),

Q_1 — расход пара на вакуум-аппарат (килограмм на тонну свеклы),

Q_0 — расход пара на технологические нужды завода (килограмм на тонну свеклы),

V — номер корпуса выпарной установки, питающей паром вакуум-аппарат,

N — количество корпусов выпарной установки,

t — сокращение времени уваривания утфеля в автоматическом режиме (мин),

T — время уваривания утфеля в операторском режиме (мин),

Q_m — расход условного топлива на технологические нужды (килограмм на тонну свеклы),

M — масса перерабатываемой свеклы за сезон (тонн),

C_1 — цена одного килограмма условного топлива (доллары США),

m — количество сахара, вырабатываемого заводом за свеклоперерабатывающий сезон (тонн),

C_2 — цена одной тонны сахара (доллары США),

P — сокращение потерь сахара за счет улучшения гранулометрии,

n — количество вакуум-аппаратов.

Расчет производился по данным Рокитнянского сахарного завода с учетом рекомендаций института «Гипросахар» и эмпирических данных о результатах работы в сезонах 1996...1998 гг. на Губихском, Саливонковском, Узинском, Лучанском, Новоукраинском, Дрокиевском, Глодянском и Купчинском сахарных заводах:

$\Theta = 29863$ доллара США.

Срок окупаемости капитальных вложений заказчика C_0 вычисляется по формуле:

$$C_0 = C/\Theta,$$

где C — цена системы автоматизации одного вакуум-аппарата, равная 20000 долларов США.

$$C_0 = 20000 / 29863 = 0,67 \text{ сезона.}$$

Расчет экономической эффективности внедренных систем автоматизации вакуум-аппаратов на перечисленных сахарных заводах по реальным результатам работы в 1996–1998 гг. показал, что срок окупаемости капитальных вложений составляет меньше одного сезона.

Кроме того, расширенные технические возможности системы автоматизации позволяют обслуживающему персоналу оперативно и эффективно принимать решения при изменениях в технологическом процессе, что, в свою очередь, приводит к положительному экономическому эффекту.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные системы автоматизации обеспечивают:

- надежную работу оборудования в особых технологических условиях, связанных с непрерывной эксплуатацией в широком температурном диапазоне при изменяющейся влажности, с постоянной вибрационной нагрузкой и сильными электромагнитными помехами;
- возможность реализовать алгоритм управления технологическим процессом любой сложности, благодаря разработанному пакету программно-



Автоматический плотномер (рефрактометр)

го обеспечения и примененному промышленному контроллеру MicroPC, имеющему высокие технические и эксплуатационные характеристики;

- высокую экономическую эффективность за счет применения новых рациональных технологических и технических решений, в том числе и разработанных и изготовленных ООО «ВИОЛ-2» преобразователей и устройств особой конструкции, таких как:
 - автоматический плотномер (рефрактометр), предназначенный для определения сухих веществ (СВ) от 3 до 70% (шкала BRIX) в непрерывном потоке жидкости,
 - пневмодвигатели поворотные двухпоршневые Ц125, предназначенные для привода трубопроводной арматуры (кранов шаровых и затворов дисковых),
 - вискозиметр, предназначенный для определения вязкости жидкости,



Затвор дисковый с пневмоприводом поворотным и шаровой кран

— бесконтактный преобразователь оборотов, предназначенный для преобразования оборотов двигателя (от 12 до 1500 об./мин) в унифицированный сигнал (4–20 мА), и другие.

Кроме представленных систем, в ООО «ВИОЛ-2» разработаны и введены в эксплуатацию системы автоматизации:

- тракта подачи,
- колонной диффузионной установки,
- станции ФиЛС (листовые саморазгружающиеся фильтры-сгустители),
- мешалок-кристаллизаторов и сборников-подогревателей,
- жомосушильной установки,
- весового хозяйства,
- известково-газовой печи. ●

Авторы — сотрудники ООО «ВИОЛ-2», ЗАО «Кристалл-Бел», АО «Глодень-Сахар»
Телефон/факс : (044) 430-6625