



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, pH-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 дефекации и предварительной сатурации;

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

3-я ступень — аппараты дефекации 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,

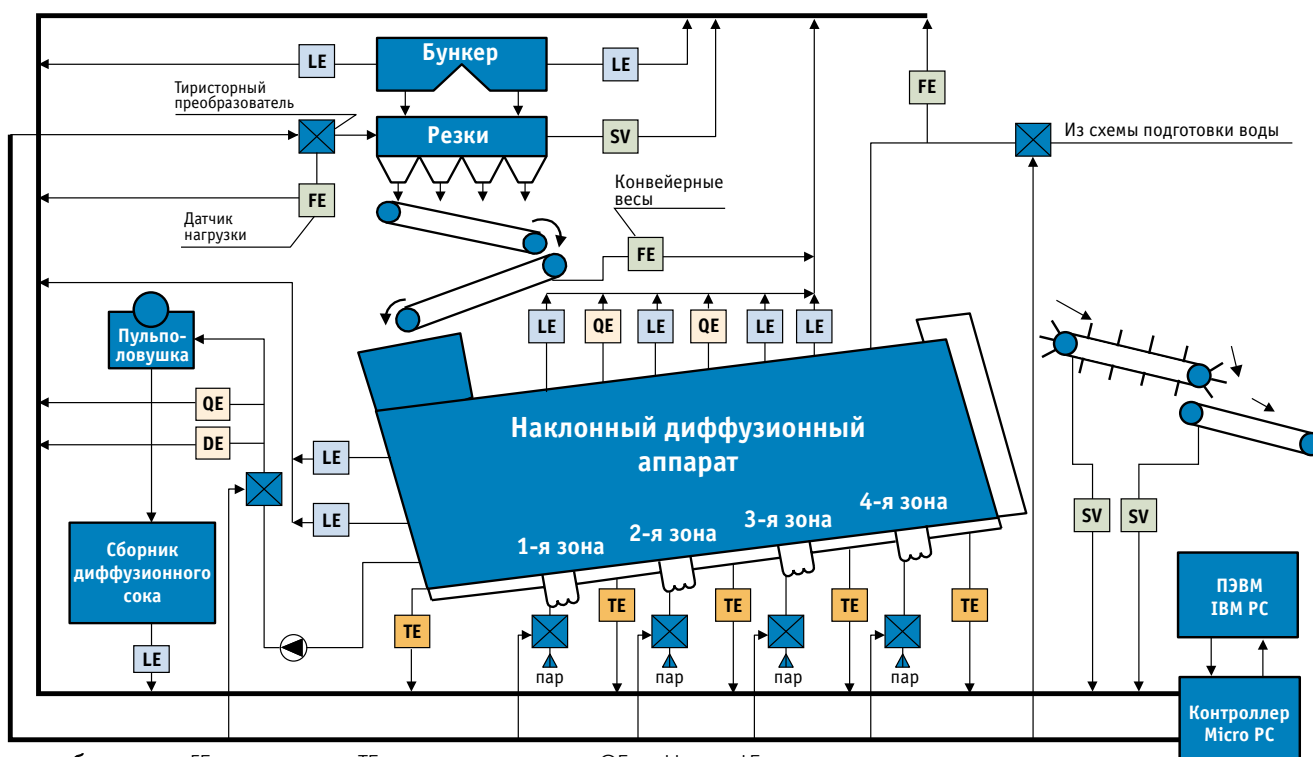
pH-метры, рефрактометр, газоанализатор, расходомеры, запорно-регулирующую арматуру (шаровые краны и дисковые затворы), пневмоэлектро- и электропневмопреобразователи, контроллер на базе MicroPC и ПЭВМ IBM PC.

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 CaO 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 pH (это отрицательный логарифм концентрации ионов водорода) сока I сатурации с точностью не хуже 0,2 единицы, pH 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 — pH-метр, LE — датчик уровня, SV — преобразователь оборотов, DE — рефрактометр.

Рис. 1. Система автоматизации диффузионной установки

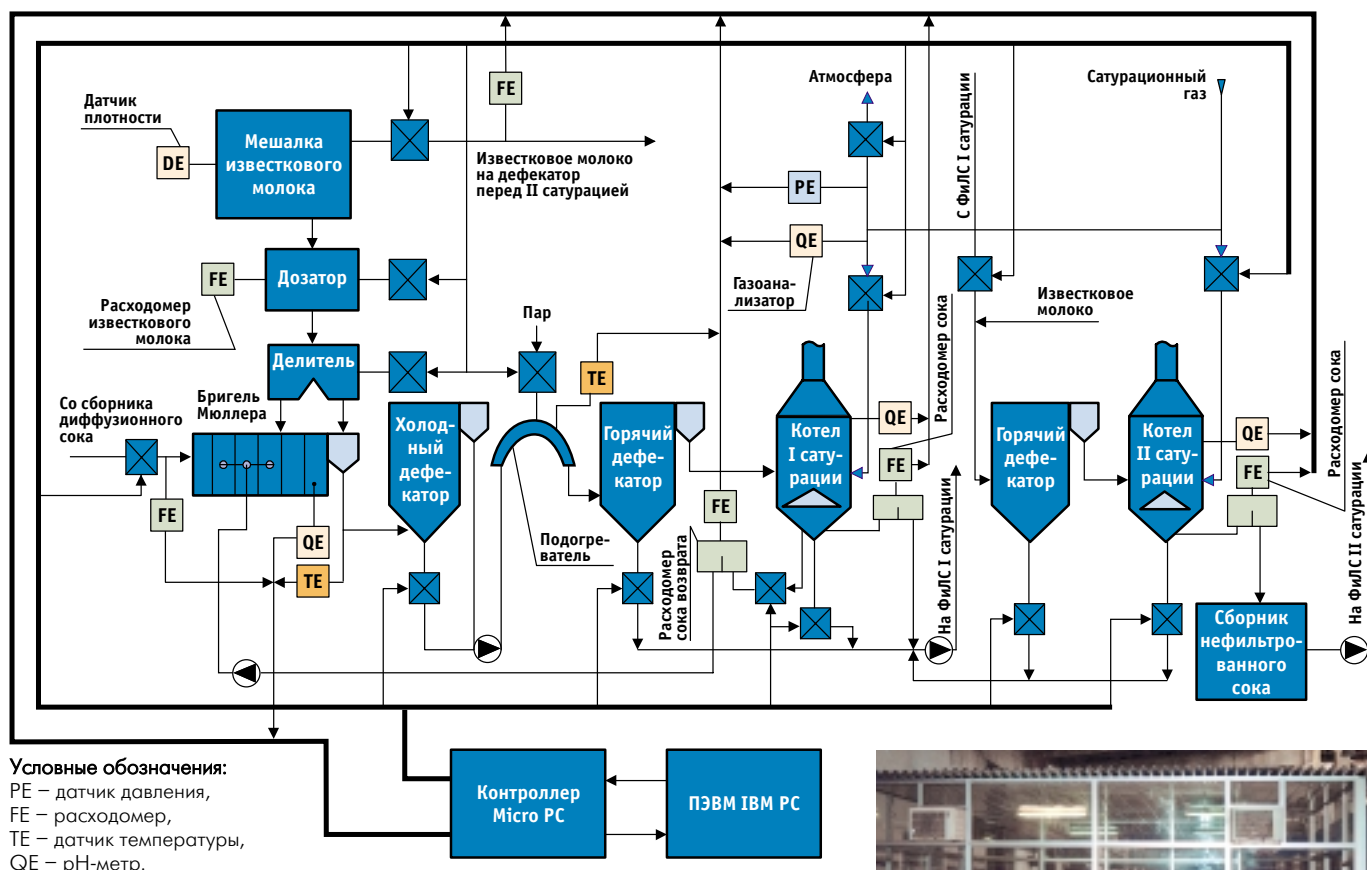


Рис. 2. Система автоматизации станции дефеко-сатурации

- за счет снижения расхода СаО 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 дефеко-сатурации представлена на рис. 2.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫПАРНОЙ СТАНЦИИ

Выпарные аппараты предназначены для сгущения свежесокленного 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 дефеко-сатурации (ЗАО «Кристалл-Бел»)

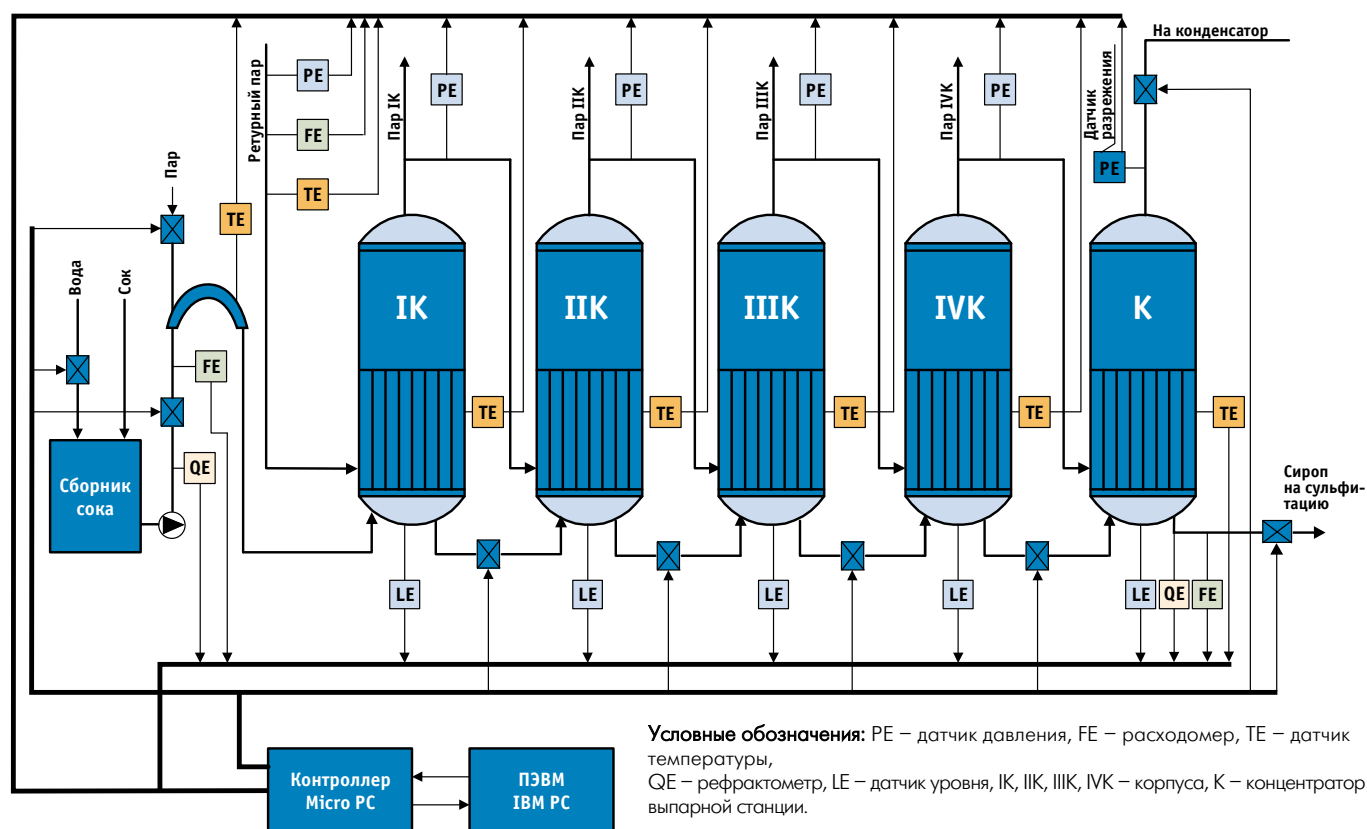
Система автоматизации вакуум-аппаратов включает в себя датчики разрежения, уровня, температуры, кондуктометр, вискозиметр, запорно-регулирующую арматуру — шаровые краны и дисковые затворы, пневмоэлектро- и электропневмопреобразователи, контроллер на базе MicroPC и ПЭВМ IBM PC.

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 центрифугирования.

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 аналого-

вых 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

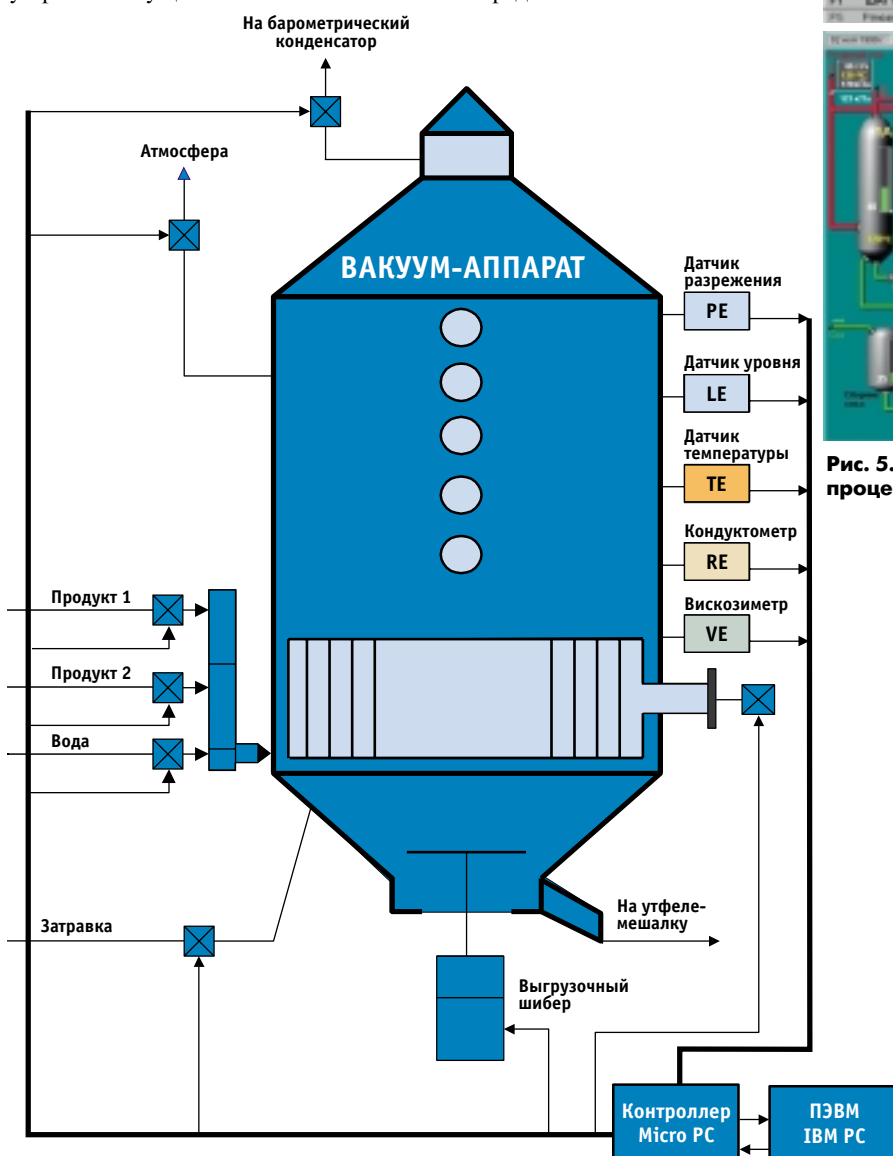


Рис. 4. Система автоматизации вакуум-аппарата



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 разъёмными 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 MPB-24,
- A14 — изолированная плата интерфейсов PCL-745B,
- K1 — кабель CMA-20-24,
- K2,...K9 — кабели CMA-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, pH процесса, доброкачественность свекловичного сока.

Для станции дефекосации 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

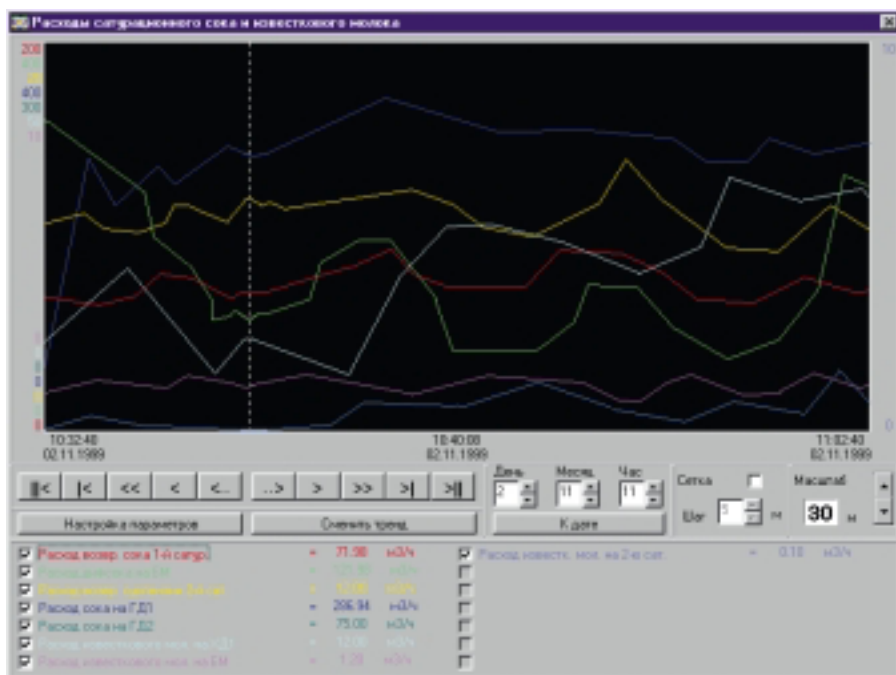
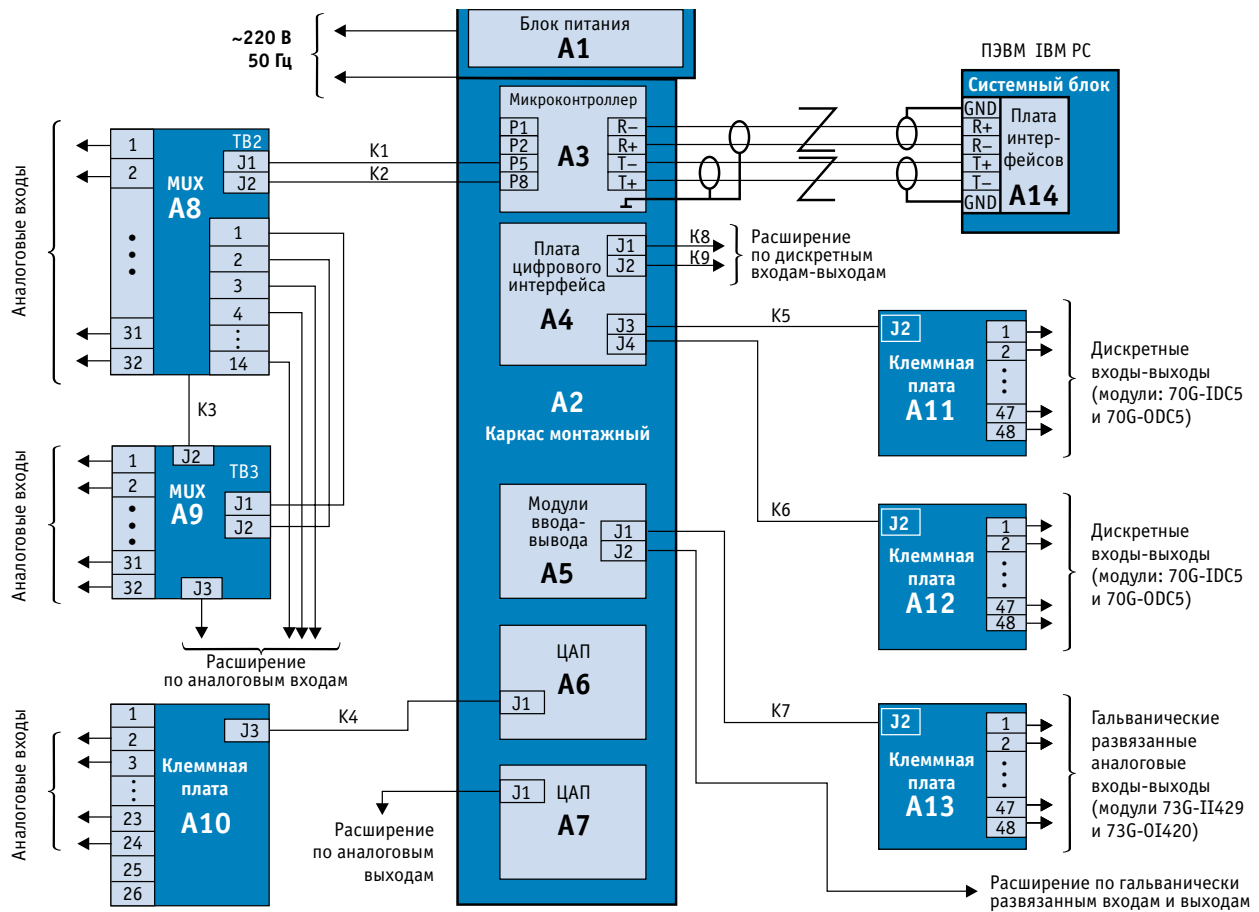


Рис. 6. Копия экрана с графиками расхода сырья и материалов



Условные обозначения: J1...J4 — разъемы на платах; P1...P8 — разъемы микроконтроллера; TB2, TB3 — клеммники 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»:

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

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-

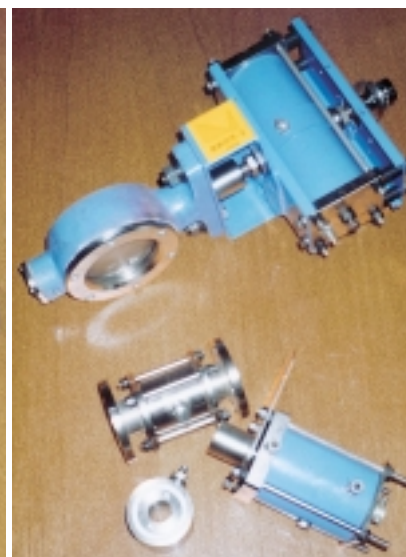


Автоматический плотномер (рефрактометр)

го обеспечения и примененному промышленному контроллеру MikroPC, 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