

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕДЕЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА

В.Л. Полосин (ООО "ЭФО")

*Сделана попытка обобщения опыта автора в области разработки, изготовления, пуска-наладки и опытной эксплуатации систем автоматического управления одним из технологических переделов непрерывного цикла (дезодорацией) при производстве растительных масел. Статья не является рекламой конкретных видов услуг или оборудования и, по мнению автора, должна представлять интерес также и для инженеров, работающих в иных отраслях, так как специфика применяемых в отрасли решений только подчеркивает общность основных проблем.*

### Особенности на уровне постановки задачи

Процесс дезодорации растительных масел является завершающей стадией рафинации. На выходе этого передела получается нормализованная по органолептическим показателям (вкус, цвет, запах) продукция, в дальнейшем используемая при производстве маргариновой продукции, майонеза, различного вида соусов, кондитерских изделий или предназначенная для непосредственного употребления в пищу.

Дезодорация представляет собой дистилляционный процесс, осуществляемый в потоке водяного пара в условиях глубокого вакуума и высокой температуры. Технически дезодорация является наиболее сложным и энергоемким ТП в масложировой промышленности, от которого во многом зависит качество готового продукта — пищевого растительного масла. Качественные оценки масла косвенно определяются рядом физико-химических показателей, определяемых обычно в лаборатории предприятия, таких как кислотное число и прозрачность, и органолептическими показателями, основанными на дегустации готового продукта. В связи с этим задача автоматизации процесса дезодорации состоит в обеспечении заданного набора параметров ТП — температуры, уровня в емкостях, вакуума, массового расхода пара.

Значения этих параметров, обеспечивающие оптимальное качество масла на выходе процесса, являются индивидуальными для каждой конкретной линии дезодорации. Это обусловлено различием свойств исходного сырья из разных районов произрастания, а также различием принятых на разных предприятиях технологий предыдущих переделов (отбелка, выморозка). На момент запуска линии в эксплуатацию значения параметров известны лишь приблизительно и требуют уточнения на работающей линии

"вживую" — сродни индивидуальному пошиву, но без возможности предварительного снятия мерки.

Технические особенности применяемых средств автоматизации для рассматриваемой линии будут рассмотрены ниже. Здесь же необходимо остановиться на нетехнических по природе особенностях, вытекающих из соседства понятий *автоматизация и пищевая промышленность* — то есть на тех самых деталях, в которых, по мнению богословских авторитетов, и сидит дьявол. Особенности эти полезно начать рассматривать с конца.

Во-первых, разработанной и сданной в эксплуатацию системе автоматического управления предстоит нелегкая и продолжительная трудовая жизнь (расчетный срок эксплуатации  $\geq 15$  лет) в местах, весьма отдаленных от обеих российских столиц. Там, где в основном выращивается сырье и производится растительное масло, число квалифицированных инженеров по автоматике, а равно торговых точек поставщиков современного технологического оборудования, на 1 м<sup>2</sup> невелико. Поэтому оборудованию в первую очередь предстоит столкнуться с особенностями национальной эксплуатации — "бессмысленной и беспощадной". Таким образом, требованием технического задания номер один оказывается защищенность от... скажем так, недостаточной квалифицированных действий обслуживающего персонала. Технически сложные и дорогие компоненты системы (ПЛК, операторские панели, приводы задвижек, рабочее ПО) должны быть пригодны для работы на весь расчетный срок эксплуатации без замены и/или сложного периодического обслуживания. Простые компоненты системы типа датчиков физических величин должны быть жестко ограничены по номенклатуре, доступны в кратчайшие сроки, взаимозаменяемы и стандартизованы как по механике, так и по выходному сигналу.

Во-вторых, за спиной разработчика тенью стоит *бюджет* и напоминает о себе при каждом удобном случае

### БИБЛИОТЕКА

#### ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ РЫНКА СНГ В ОБЛАСТИ ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР СРЕДСТВ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ОБЪЕКТА

Под редакцией зав. лаб. методов автоматизации производства Института Проблем Управления РАН Э.Л. Ицковича.

Объективные описания, анализ и сопоставление важнейших показателей средств отечественных и зарубежных производителей в обзорах:

**Выпуск 1.** "Программы связи операторов с ПТК (SCADA-программы) на рынке СНГ", Версия 8, 2004 г.;

**Выпуск 2.** "Микропроцессорные программно-технические комплексы (ПТК) отечественных фирм", Версия 7, 2004 г.;

**Выпуск 3.** "Сетевые комплексы контроллеров зарубежных фирм на рынке СНГ", Версия 3, 2005 г.;

**Выпуск 4.** "Микропроцессорные распределенные системы управления на рынке СНГ", Версия 4. 2005 г.;

**Выпуск 5.** "Перспективные программные и технические средства автоматизации: их стандартизация, свойства, характеристики, эффективность эксплуатации", Версия 3, 2004 г.;

*Конкурсный выбор средств и систем под конкретные требования:*

"Методика проведения конкурса" с приложением программы "Вычисление общей ранжировки конкурсных заявок и анализ работы экспертов". Версия 2. 2004 г.

Справки по приобретению любой из перечисленных работ можно получить у Э.Л. Ицковича по тел. и факсу (495) 334-90-21, по E-mail: itskov@ipu.rssi.ru

(вступая тем самым в непреодолимое противоречие с "во-первых"). В отличие от "перекачивающих" отраслей промышленности, растительное масло пока не добывается из скважины, а получается из подсолнечника, который еще надо вырастить и переработать. Изъять лишний рубль из заказчика в масложировой промышленности на современную систему автоматического управления много труднее — не потому что он жаден, не понимает технического совершенства предлагаемой системы или не может просчитать ее экономической эффективности, а просто потому, что количество этих рублей у него мало. Это свойство накладывает на разработчика высокие требования к квалификации и эффективности использования рабочего времени (известно, что чем дешевле конечное изделие, тем сложнее и дороже обходится его разработка) — проект должен быть выполнен минимальной по составу командой профессионалов в самые сжатые сроки.

В-третьих, техническая новизна самого непрерывного процесса дезодорации (традиционно линии дезодорации, разрабатываемые с конца 60-х годов прошлого века и выпускаемые до сих пор, были периодического и полупериодического цикла; непрерывный цикл дезодорации — новая современная технология<sup>1</sup>) порождает "трудности перевода" — технолог не может объяснить, что же ему надо в итоге получить от системы автоматического управления, или вообще не принимает участия в постановке задачи.

В идеальном случае мудрый технолог предоставляет полное описание ТП, опытные теплотехники производят детальный расчет и моделирование тепловых и гидравлических процессов в линии, квалифицированные конструкторы рассчитывают и разрабатывают сосуды и трубопроводы, передают на производство полный комплект документации, где трезвые сварщики и слесари реализуют все это в "железе"... Одновременно с этим формируется многостраничное полное техническое задание для специалистов по автоматике, от которых принимаются требования по установке датчиков на линии, прокладке кабельных трасс и вносятся коррективы в документацию... "Нет, сынок, это фантастика". На самом деле чаще всего о том, что автоматика должна иметь "глаза и руки" просто забывается, а арматура изготавливается непосредственно на объекте установки в последний момент.

По нашей практике работы в масложировой промышленности (12 линий дезодорации непрерывного цикла от Воронежа до Улан-Удэ) функционал системы автоматического управления уточняется и перекраивается в последний момент на этапе пуска-наладки (уже при непосредственном участии эксплуатирующей организации). И это связано не только с фантазиями заказчи-

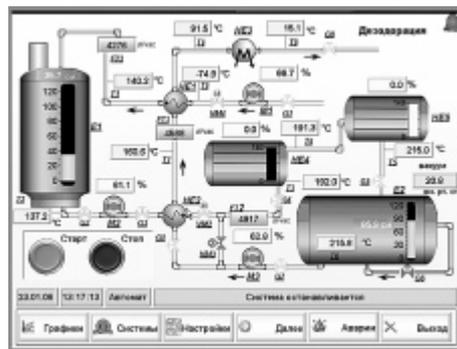


Рис. 1

ка, но и с тем, что на самом деле не оказалось ни мудрого технолога, ни опытного теплотехника, ни квалифицированного конструктора, ни трезвого сварщика... Результаты же того, что один не был мудр, а другой трезв, "вылезают" на этапе пуска-наладки системы автоматического управления. Соответственно с помощью автоматики пытаются устранить или хотя бы сгладить инженерные просчеты в смежных областях.

В-четвертых, при пусконаладочных работах разработчик (и он же изготовитель системы, сдающий ее в эксплуатацию на объекте) может надеяться только на себя и решать проблемы, проистекающие из "в-третьих" только подручными средствами или "домашними заготовками". Притом не забываем: линия дезодорации непрерывная, ее разогрев и вывод на режим занимает период от суток до полутора, вывод из режима занимает до 2 суток, что связано с очень большой инерционностью тепловых процессов. Количество масла, выделяемого на пуска-наладку, тоже невелико — ни один здравомыслящий владелец маслозавода не даст просто так испортить несколько десятков тонн масла. Поэтому число попыток запуска и отладки непрерывной линии дезодорации всегда заранее известно и равно единице. Таким образом, ПО системы автоматического управления должно при отладке корректироваться без остановки процесса — "на лету".

В-пятых, при разработке системы необходимо не только обеспечить заданный функционал, но и защитить систему от "первой российской беды", то есть...см. выше. Линия дезодорации, конечно, не реактор АЭС, но тем не менее масло в линии под вакуумом нагрето до температуры около 240 °С, а температура вспышки масла на открытом воздухе ≤234 °С, т.е. при разгерметизации линии в результате смелых опытов (например, ночью от скуки оператор решил "добавить пара") гарантированно получаем огненный "маслопад" и пожар. К сожалению, тяга к экспериментам и смелость обслуживающего персонала обратно пропорциональны квалификации.

### Технология непрерывной дезодорации и схема автоматизации

Схему автоматизации линии дезодорации растительных масел непрерывного цикла рассмотрим на примере перерабатывающих предприятий производительностью 180 т/сут, основное технологическое оборудование производства ЗАО "Стройпишемаш" (Москва). Процесс непрерывной дезодорации растительных масел на линии (рис. 1) включает следующие технологические стадии:

- предварительную фильтрацию рафинированного масла на входном фильтре перед подачей в теплообменник HE1;

<sup>1</sup> Васильева Г.Ф. Дезодорация в масложировой промышленности. С.-Петербург. Изд. "Стройпишемаш". 2003.

- подогрев рафинированного масла перед деаэрацией за счет теплообмена с частично охлажденным дезодорированным маслом в теплообменнике HE1;

- деаэрацию — удаление из рафинированного масла воздуха и влаги в деаэраторе E1 под вакуумом;

- подогрев деаэрированного масла за счет теплообмена с дезодорированным маслом в теплообменнике HE2;

- окончательный нагрев масла перед подачей в дезодоратор E2 в проточных электронагревателях HE4 HE5;

- дезодорацию — удаление свободных жирных кислот и летучих веществ, в том числе обуславливающих вкус и запах масла, в дезодораторе E2 под вакуумом при барботаже перегретым паром;

- промежуточное охлаждение дезодорированного масла за счет теплообмена с рафинированным маслом в теплообменниках HE2 и HE1;

- окончательное охлаждение дезодорированного масла в теплообменнике HE3 холодной водой;

- фильтрацию дезодорированного масла на полировочных фильтрах.

Рафинированное масло из буферной емкости насосом M1 через фильтр и расходомер FT1 подается в теплообменник-рекуператор HE1, где за счет теплообмена с дезодорированным маслом нагревается до температуры 90...95°C. Температура входящего масла контролируется датчиком T1, температура масла на выходе теплообменника HE1 — датчиком T2.

Нагретое масло через форсунки поступает в деаэратор E1, где под вакуумом в падающем потоке происходит удаление из масла воздуха и влаги. Уровень масла в нижней ванне деаэратора поддерживается на заданном уровне по показаниям датчика уровня L1.

Разрежение (вакуум) ~ 0,53 кПа (4,0 мм рт. ст.) в деаэраторе E1 и дезодораторе E2 создается плунжерным насосом или парожеткорным блоком. Глубина вакуума определяется по показаниям датчика P1.

Из деаэратора E1 масло подается насосом M2 через теплообменник HE2, где происходит промежуточный подогрев до температуры 140...175°C, и расходомер FT2 подается в проточные электронагреватели HE4 и HE5, установленные последовательно, где осуществляется окончательный нагрев масла до рабочей температуры около 240°C. Температуры на этом участке контролируются и регулируются по датчикам T3, T4 и T5. Противоваздушную защиту нагревателей обеспечивают встроенные биметаллические датчики, порог срабатывания которых устанавливается механически.

В дезодораторе масло поступает в верхнюю секцию, перетекает из верхней секции дезодоратора в нижнюю секцию, температура в которой контролируется по показаниям датчика T6, откуда насосом M3 откачивается через теплообменники-рекуператоры HE2 и HE1, где происходит ступенчатое охлаждение масла до 130°C и 75°C соответственно поступающим в линию рафинированным маслом. Температуры на этом участке контролируются по датчикам T7 и T8.

Уровень заполнения маслом секции дезодоратора определяется: в верхней секции — высотой переливной перегородки; в нижней секции — по датчику уровня L2 в последней сливной подсекции, где высота слоя масла должна быть на 150...200 мм меньше высоты переливной перегородки предпоследней подсекции.

Окончательное охлаждение масла осуществляется холодной водой в теплообменнике HE3, температура контролируется по показаниям датчика T9. Далее масло направляется в емкость готовой продукции через полировочные фильтры.

При запуске установки в работу, для обеспечения рекуперации в рабочем цикле, осуществляется нагрев масла при его циркуляции по контуру: дезодоратор E2 — насос M3 — электронагреватели HE3 и HE4 — дезодоратор E2. На этот период времени насосы M1 и M2 остановлены.

При достижении заданной температуры на выходе из дезодоратора E2 отключается линия возврата масла, дальнейшее движение масла осуществляется по описанной выше технологической схеме.

Барботирующий "острый" пар подается вначале в верхнюю секцию дезодоратора E2 (с момента начала подачи в эту секцию масла), затем и в нижнюю секцию дезодоратора (с началом перелива масла из верхней секции в нижнюю), когда количество поданного в верхнюю секцию масла превысит ее емкость и обеспечит необходимое количество масла в нижней секции.

Парогазовая смесь из деаэратора E1 и дезодоратора E2 отводится в скруббер E3, в котором за счет циркуляции и распыления орошающего масла происходит конденсация основного количества паров жирных кислот (погонов).

Орошающее масло циркулирует по контуру: скруббер E3 — фильтр — насос M4 — теплообменник-охладитель — скруббер E3. Периодически накапливаемые в скруббере погоны выводятся для реализации из системы циркуляции с помощью насоса M4 через кран. Контроль за уровнем погонов осуществляется по датчику уровня L3, расположенному в нижней части скруббера.

#### Особенности средств автоматизации

Как следует из схемы автоматизации, технология дезодорации требует измерения ряда физических величин в диапазонах, не очень приятных разработчику системы автоматического управления. Температура масла по линии не должна подниматься выше 280°C, и датчики температуры со встроенными нормирующими преобразователями для такого диапазона еще являются доступными и недорогими. Были использованы датчики с присоединением M20x1,5 единственного для всей линии (до 12 датчиков) диапазона 0...300°C, с выходом 4...20 мА, которые взаимозаменяемы между собой.

Измерить уровень масла при температуре 250°C в вакуумированном сосуде (давление порядка

2...5 мм.рт.ст.) не так просто. Температура и вакуум исключают использование ультразвуковых, радарных и СВЧ датчиков уровня стандартного исполнения, а специализированные высокотемпературные исполнения не позволяют использовать бюджет. Приходится мерить уровень косвенно на основе показаний дифференциальных датчиков давления, с пересчетом показаний в уровень и коррекцией, учитывающей плотность горячего масла при разных температурах. Для обеспечения надлежащей продолжительности срока службы и отсутствия сбоев датчики устанавливаются на длинных подводах, обеспечивающих тепловую разгрузку — таким образом, удается использовать датчики в стандартном исполнении. Используются датчики дифференциального давления серии RM-28 производства Lumel с диапазоном 0...16 кПа, выходом 4...20 мА, присоединением M20x1,5, которые при необходимости могут быть заменены на аналоги любого производителя.

Аналогичная ситуация и с измерением расходов — число моделей расходомеров, рассчитанных на температуру среды порядка 280°C, можно пересчитать по пальцам. В данном случае используются ротаметры производства Krohne, откалиброванные на заводе на заданную температуру масла с диапазоном 0...10000 л/ч и с выходом 4...20 мА.

Для измерения разрежения в линии использованы два датчика абсолютного давления — грубой оценки с диапазоном 0...100 кПа и точной оценки с диапазоном 0...10 кПа, выходом 4...20 мА, присоединением M20x1,5.

По аналоговым входам система получается однородной, простой в обслуживании и диагностике отказов. Потенциальные "смертники" — датчики уровня (закоксовываются мембраны при несвоевременном щелочении линии) и температуры (механическое повреждение при обслуживании трубопроводов). Для облегчения диагностики предусмотрены соответствующие экраны операторской панели.

Датчики положения технологических кранов на трубопроводах линии согласно схеме автоматизации использованы индуктивные цилиндрические стандартного исполнения M12 и в случае отказа могут быть временно исключены из контура блокировки до замены. В каждом экране диагностики указаны технические характеристики датчиков для замены.

Приводы задвижек и насосы, напротив, не являются расходными материалами, поэтому использованы приводы задвижек фирмы AUMA, а насосы оборудованы электродвигателями Siemens, оптимизированными для работы с преобразователями частоты.

Читатель, вероятно, ждет развернутого пояснения по выбору лучшего программируемого контроллера для использования в системе автоматического управления. В данном случае в изложенную концепцию системы отлично "ложится" ПЛК со следующими характеристиками:

- надежный (сам по себе, без резервирования);
- малого или среднего класса по расширяемости (несколько десятков аналоговых входов/выходов, до сотни дискретных входов/выходов);
- необязательно быстрый (при дезодорации ничего за миллисекунды не происходит);
- хорошо известный разработчикам по предыдущим проектам (нет времени переучиваться);
- удобный при отладке программ и поддерживающий перепрограммирование "на лету";
- недорогой.

С учетом опыта работы с контроллерами фирмы Panasonic с 1998 года, мы использовали в проекте ПЛК серии FP-Sigma, который уже зарекомендовал себя в ранее выполненных проектах как исключительно надежное изделие. Дополнительные преимущества — малые габариты, высокая помехоустойчивость и малое потребление, дающие возможность размещать контроллер рядом с силовым оборудованием в одном шкафу (рис. 2). Программирование по стандарту IEC 61131-3 позволило разработать структурированное ПО линии дезодорации.

Использование в составе линии двух проточных электронагревателей с задачей догрева масла на протоке до заданной температуры потребовало установки регуляторов мощности с фазовым регулированием мощностью по 150 кВт производства Lumel, работающих в контуре ПИД-регуляторов по температуре. Уставка выходной мощности, подаваемой на электронагреватель, формируется контроллером в виде аналогового сигнала 0...20 мА.

Согласованное управление расходами в трех частях линии дезодорации обеспечивают насосы с преобразователями частоты производства Danfoss мощностью 7,5 кВт. Помимо известной надежности преобразователи частоты серии FC301 имеют полноценное экранное меню на русском языке и внятную документацию, что оценил заказчик. Уставки частоты вращения насосов подаются на преобразователи традиционно — аналоговыми сигналами 0...20 мА. Мы сознательно не использовали промышленные шины или управление по последовательным каналам, чтобы оставить заказчику возможность замены преобразователей частоты в случае отказа или модернизации линии на любые другие,



Рис. 2



Рис. 3

управляемые дискретными и аналоговыми сигналами, без необходимости коррекции ПО.

В качестве операторского интерфейса использована операторская панель фирмы Beijer Electronics серии EXTER T100 (рис.3), обеспечивающая не только функции отображения и управления, но и серверы архивных данных и шлюза в локальную сеть предприятия. Данные об основных параметрах ТП, состоянии кранов и задвижек, действиях оператора хранятся с глубиной архива 2 недели и могут быть отданы в БД предприятия по ftp.

Также любой авторизованный ПК в локальной сети предприятия может получить доступ к просмотру текущего экрана на панели и даже при необходимости временно "перехватить" управление на себя через образ экрана. Таким образом, реализован функцио-

нал SCADA без двойной разработки операторского интерфейса – все функции запрограммированы один раз в проекте для операторской панели.

#### Заключение

Не имея возможности по условиям места подробно остановиться на аппаратных и программных изысках разработанных и сданных в эксплуатацию систем различной производительности, а также описывать многие занимательные детали самого процесса пуска-наладки, автор хотел обозначить приоритеты и инженерные подходы к разработке систем автоматики, предназначенных для пищевой промышленности. Автор будет счастлив, если его скромный труд поможет кому-то при решении аналогичных задач на практике – или хотя бы вызовет улыбку в результате "реакции узнавания ситуации".

*Полосин Владимир Львович – главный инженер отдела промышленной автоматики ООО "ЭФО".*

*Контактный телефон (812)331-09-64. E-mail: polosin@efo.ru*

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАНЦИЯМИ СОКОДОБЫВАНИЯ И СОКООЧИСТКИ

**В.М. Сидлецкий, С.Н. Швед, В.Н. Кушков**

**(Национальный университет пищевой промышленности)**

*Представлены структура, функциональные особенности и возможности системы управления, реализованной на Ждановском сахарном заводе (Винницкая область, Украина). Система базируется на ПЛК серии SPEED7 фирмы VIPA и SCADA-пакете Genesis32 фирмы ICONICS.*

Отличительной особенностью сахарной промышленности является сезонность, многоструктурность и динамический характер производства. Сезонность производства и условия хранения сырья вносят определенные коррективы в функционирование сахарного завода (происходят изменения технологических режимов).

В начале технологической цепочки находятся сокодобывающее и сокоочистное отделения, от работы которых зависит темп и ритмичность функционирования завода в целом. Они в конечном счете определяют качественные и количественные показатели производства. Для управления этими участками на Ждановском сахарном заводе внедрена автоматическая система на базе ПЛК серии SPEED7 фирмы VIPA и SCADA-пакета Genesis32.

#### Объект автоматизации

Процесс получения сока диффузионным способом состоит в противоточном выколаживании нарезанной стружки сахарной свеклы горячей водой. При этом сахароза и часть несахаров постепенно переходят в воду, в результате чего содержание их в стружке снижается, а в воде – увеличивается.

Экстракция сахара из свеклы осуществляется в непрерывно действующих аппаратах, причем наибольшее распространение приобрели колонные, наклонные двухшнековые и ротационные диффузионные аппараты.

Типовая колонная диффузионная установка (рис. 1) включает выколаживатель колонного типа, ошпариватель, подогреватели сока и оборудование подготовки воды для питания аппарата.

Для станции сокоочистки очень важно соблюдение технологического режима, от которого зависит доброкачественность сиропа при уваривании диффузионного сока. При повышении доброкачественности очищенного сока на одну единицу можно получить дополнительно сахара до 0,25% от массы перерабатываемой свеклы. Поддержание значений технологических параметров в допустимых режимах имеет решающее значение в процессе устранения несахаров и в результате для повышения эффективности сахарного производства в целом.

Для получения высокого эффекта очистки диффузионного сока необходимо выделить несахара из сока, максимально использовать адсорбционные свой-

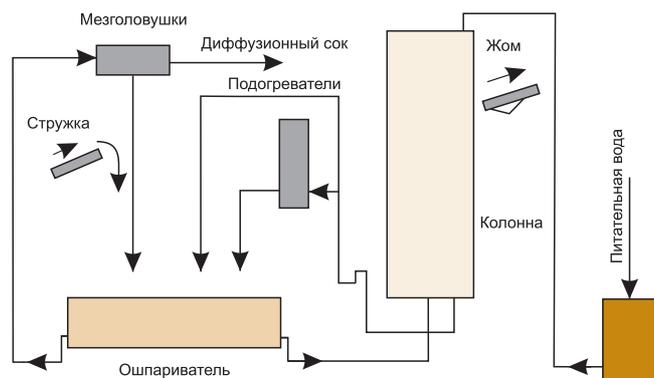


Рис. 1. Технологическая схема диффузионной станции колонного типа