

# Автоматизированная система управления технологическим процессом производства шоколадной глазури

Александр Лифанов

В статье рассказывается о модернизации АСУ ТП производства шоколадной глазури на Касимовской кондитерской фабрике с применением современных аппаратно-программных средств. В результате проведённой модернизации удалось стабилизировать вкусовые показатели и повысить качество выпускаемой продукции, увеличить производительность линии и её надёжность, автоматизировать ряд опасных и рутинных операций, создать условия для дальнейшего наращивания и совершенствования системы управления.

## ВВЕДЕНИЕ

С переходом к рыночной экономике российские производители все больше внимания уделяют не только объёмам производства и ассортименту выпускаемых изделий, но и повышению качества готовой продукции. Именно качество начинает играть главенствующую роль в продвижении продукции как на внутреннем, так и на внешнем рынках. В этих условиях к системам автоматизации начинают предъявляться новые, более высокие требования. Выполненный компанией «Инфорум Пром» на Касимовской кондитерской фабрике (ККФ) проект по модернизации системы управления линией производства шоколадных глазури преследовал цели увеличения точности измерения и регулирования технологических параметров, а также повышения надёжности функционирования технологического оборудования. Конечным результатом модернизации стало обеспечение высо-

кого уровня стабильности вкусовых показателей шоколадной глазури, производимой на кондитерской фабрике.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Линия производства шоколадной глазури была изготовлена в Голландии и смонтирована на Касимовской кондитерской фабрике в 1994 году. С тех пор линия производит 200 тонн шоколадных масс ежемесячно.

Линия включает в себя (рис. 1):

- 1 14 технологических установок с соответствующими приводами, клапанами и трубопроводами;
- 1 комплекс контрольно-измерительной аппаратуры (аналоговые датчики уровня, веса, тока, температуры, расхода, цифровые датчики протока, положения и др.);
- 1 управляющую часть, в которую входят исполнительные устройства, преобразователи, устройства плавного пуска, модули распределённого сбора информации, контроллеры и система визуализации.

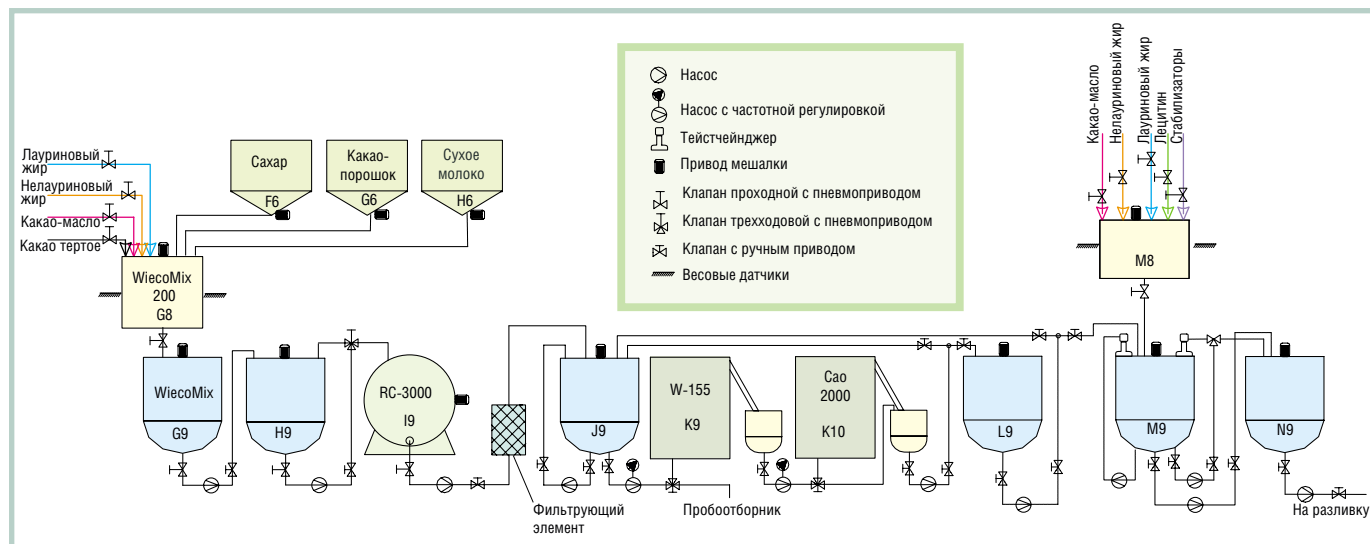
Технологический процесс производства глазури состоит из четырех основных этапов. Первый этап включает в себя операции дозирования различных (до 8 на каждую партию) ингредиентов и их перемешивания. Дозирование производится на весовой станции WiecoMix, конструктивно состоящей из двух баков, вмещающих до 200 кг сырья каждый. Верхний бак установлен на тензодатчиках и предназначен для взвешивания одной дозы. Нижний бак является буферным и служит для ускорения процесса дозирования. Следующий бак (Н9) ёмкостью, соответствующей 3000 кг продуктов, выполняет функции накопительного бака и используется для сбора всей партии ингредиентов перед дальнейшей обработкой.



Производственный корпус  
Касимовской кондитерской фабрики



Цех измельчения



Условные обозначения:

- F6 — бункер сахара-песка;
- G6 — бункер какао-порошка;
- H6 — бункер сухого молока;
- G8 — основная весовая станция (до 200 кг);
- G9 — буферный бак (до 200 кг);
- H9 — накопительный бак (до 3000 кг);
- I9 — рефайнер-конш;
- J9 — накопительный бак (до 3000 кг);
- K9 — шариковая мельница WieneRoto W-155;
- K10 — шариковая мельница Caotech Cao-2000;
- L9 — накопительный бак (до 3000 кг);
- M8 — весовая станция добавок (до 200 кг);
- M9 — конширующий бак (до 5000 кг);
- N9 — бак хранения (до 8000 кг).

**Рис. 1. Технологическая схема линии № 2 Касимовской кондитерской фабрики**

Во время второго этапа обработки производится предварительное измельчение частиц ингредиентов крупнее 75 мкм на рефайнер-конше (машина для одновременного выполнения операций измельчения и конширования — длительного перемешивания подогретого шоколада с целью удаления нежелательной влаги и летучих веществ). Спецификой данного этапа является контроль температуры устройства одновременно с поддержанием заданного тока главного двигателя. Автоматизация операций заливки и слива продукта из рефайнер-конша позволила освободить оператора от рутинных действий.

На третьем этапе обработки выполняется основное измельчение в тандеме шариковых мельниц. Этот процесс является критичным для качества итогового продукта. Основным фактором, влияющим на результаты помола, является скорость подачи исходных продуктов в мельницы. Регулировка скорости подачи осуществляется программными PID-контроллерами на основе показаний расходомера Endress+Hauser (для первой мельницы) и

датчика уровня в промежуточном баке (для второй мельницы). Поскольку помол связан с сильным нагревом, на этом этапе тоже осуществляется контроль температуры продукта в процессе обработки.

Четвертый этап обработки подразумевает внесение различных добавок и ароматизаторов, а также возможное конширование. Для дозирования добавок используется весовой бачок, подвешенный на трех тензодатчиках фирмы Scaime.

Система управления описанным технологическим процессом изначально была построена на основе контроллера S5-115U фирмы Siemens (рис. 2 а), а для визуализации использовался пакет Citect v.5.0. Связь контроллера и компьютера была организована по протоколу AS511 (9600 бит/с) через конвертор RS-485/RS-232.

Основными недостатками первоначальной версии системы были следующие:

- 1 низкая скорость передачи по каналам связи, которая вызывала большие задержки между выдачей команды оператором и её обработкой (до десятков секунд);
- 1 моральное старение аппаратуры, усложнявшее процесс её обслуживания и устранения аварийных ситуаций;
- 1 сравнительно длинный цикл опроса модулей контроллером, что при увеличении скорости подачи сырья приводило к ошибкам в дозировании продуктов;
- 1 наличие большого количества ручных настроек.

В 2000 году было принято решение о модернизации системы управления линией производства шоколадной глазури с переводом её на современное оборудование серии SIMATIC S7 и за-

менной периферии, кабелей связи, системы визуализации (рис. 2 б).

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Новый вариант АСУ ТП построен на основе системы управления процессами SIMATIC PCS7 Compact фирмы Siemens, ядром которой является промышленный компьютер SIMATIC RI 45 со встроенным модулем центрального процессора CPU 416-2DP в исполнении SlotPLC. Связь процессорного модуля с компьютером реализована по шине ISA, а с внешними устройствами — через коммуникационный контроллер по интерфейсу PROFIBUS-DP.

Промышленный компьютер с модулем CPU 416-2DP фактически выполняет функции контроллера, инженерной и операторской станций. Он установлен в помещении операторной и через сетевую карту и Ethernet связан с компьютером верхнего уровня, который используется и как рабочее место начальника производства, и как веб-сервер для организации подключения удалённых пользователей, например из московского офиса компании. Повторяя изображение, высвечиваемое на экране операторской станции, компьютер верхнего уровня служит только для наблюдения за ходом технологического процесса и управляющими функциями не обладает.

По интерфейсу PROFIBUS-DP модуль CPU 416-2DP связан со станциями распределённого ввода-вывода ET200M, установленными в шкафах управления на территории производственного помещения (рис. 3), а также с модулями распределённой периферии других линий и участков. Помимо станций ET200M внутри шкафов раз-

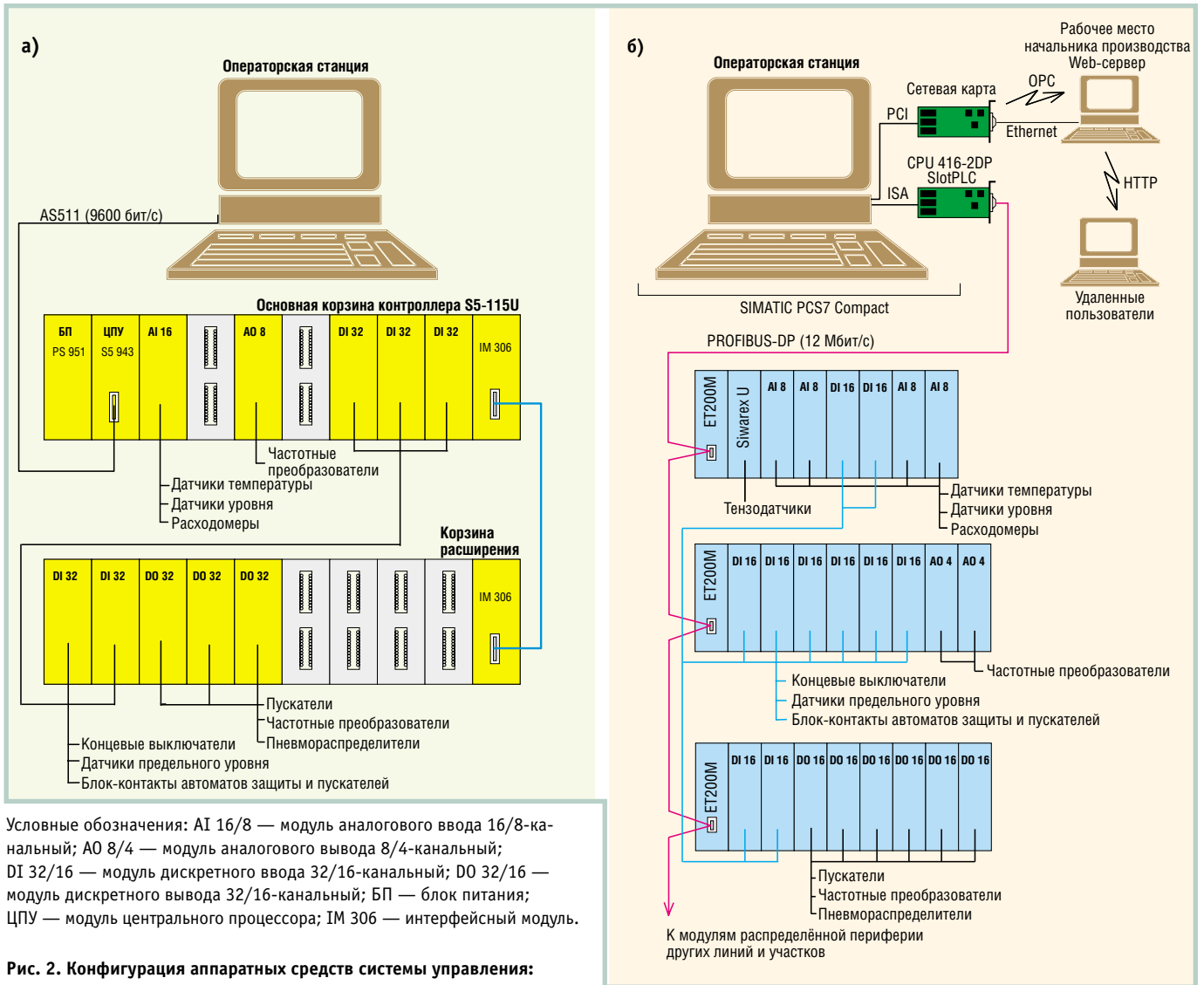


Рис. 2. Конфигурация аппаратных средств системы управления: а) до модернизации; б) после модернизации

мещены интерфейсные реле, устройства защитного отключения (УЗО), частотные преобразователи, устройства плавного пуска и другое оборудование (рис. 4), подключённое сигнальными

выводами к модулям ввода-вывода, а силовыми — к клеммам, расположенным внизу шкафов. А уже с клемм выполнена разводка непосредственно по датчикам и исполнительным устройст-

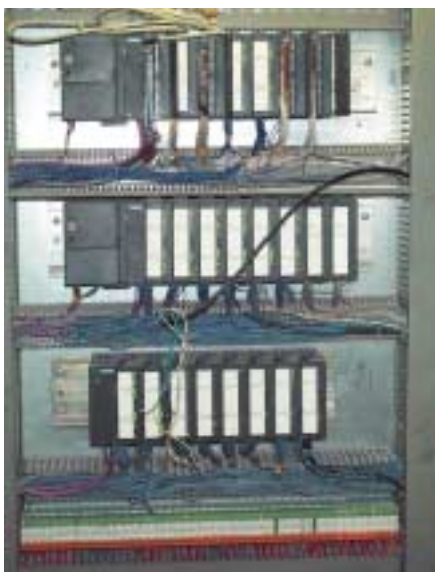


Рис. 3. Сигнальная секция шкафа управления



Рис. 4. Силовая секция шкафа управления

вам. Коммутационные возможности системы после модернизации отражены в табл. 1.

Рабочее место оператора АСУ ТП (рис. 5) сформировано на базе промышленного компьютера Pentium II/333 МГц, функционирующего под управлением операционной системы Microsoft Windows NT Workstation 4.0 с установленной системой визуализации Windows Control Center (версия 4.02). Отображение информации осуществляется на четырех мониторах с диагональю 21 дюйм.

Система визуализации реализует следующие функции:

Таблица 1. Коммутационные возможности системы управления

Тип входа или выхода	Количество
Цифровой вход	160
Цифровой выход	96
Аналоговый вход	32+2 (для тензодатчиков)
Аналоговый выход	8

- 1 отображение технологических процессов, происходящих на производственной линии (основная мнемосхема и мнемосхемы отдельных секций);
- 1 ручное управление устройствами (переключение режимов управления «ручной/автомат» можно производить как по секционно, так и для отдельного устройства);
- 1 управление циклами автоматических режимов;
- 1 архивирование переменных (тренды сгруппированы по секционно);
- 1 индикация аварийных и информационных сообщений;
- 1 разделение уровней доступа пользователей;
- 1 автоматическое формирование и печать отчетов.

Изображение на каждом мониторе рабочего места оператора разделено на три части (рис. 6). В верхней части находятся кнопки перехода между различными линиями производства, а также строка для информационных и аварийных сообщений. В нижней части расположены кнопки управления

оболочкой (управление доступом, журналы тревог, перемещение по иерархии мнемосхем и т.п.). В средней части экрана высвечивается мнемосхема выбранной линии. Мнемосхемы выбираются независимо для каждого монитора. Серым цветом отображаются неактивные устройства, зеленым – работающие, красным – аварийные. Уровни наполнения баков помимо цифровых значений отображаются графически. С основной мнемосхемы линии можно переключиться на секционные мнемосхемы, в окна уставок, трендов, рецептов, управления циклами.

В результате модернизации оборудование системы управления было заменено более производительными и надёжными устройствами серии SIMATIC S7. Это существенно расширило как коммутационные, так и функциональные возможности системы, вследствие чего к ней через PROFIBUS-DP и модули распределённой периферии были дополнительно подключены датчики и исполнительные устройства ещё трёх линий и двух вспомогательных участков предприя-

тия. Кроме того, перемещение модуля центрального процессора (наиболее критичного узла системы) из производственного помещения в операторную сделало более благоприятными условия для его эксплуатации, а использование внутренней шины компьютера для связи с контроллером вместо внешней шины позволило увеличить поток данных для визуализации.

Модернизация системы управления от постановки задачи до получения отладочной версии заняла всего 5 недель.

### МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Основной процесс приготовления шоколадных масс — измельчение — выполняется на рефайнер-коншах (рис. 7) и шариковых мельницах (рис. 8).

Шариковая мельница представляет собой цилиндр, заполненный шариками. Через этот цилиндр снизу вверх прокачивается продукт. Насос, подающий продукт, оборудован частотным преобразователем. Воздействие соуда-



Рис. 5. Рабочее место оператора



Рис. 7. Рефайнер-конш

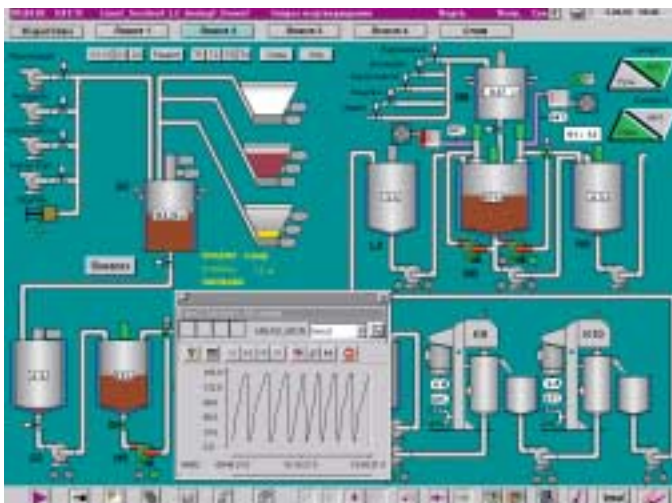


Рис. 6. Основная мнемосхема линии



Рис. 8. Шариковая мельница

ряющихся шариков приводит к измельчению частиц молока и сахара. Основной задачей этого устройства является получение на выходе продукта с определённой дисперсностью.

При прежней системе управления стабильный помол получить не удавалось. В результате длительных экспериментов были отвергнуты идеи по стабилизации таких параметров, как давление в подающей трубе, ток двигателя мельницы, усреднённый расход. Единственно приемлемой оказалась идея стабилизации мгновенного расхода.



Рис. 9. Расположение тензодатчика весовой станции

Таблица 2. Результаты тестового дозирования на модернизированной весовой станции WiescoMix

		Жир	Какао	Сухое молоко	Сахар
Номинальный вес дозы		46,5 кг	7,6 кг	22,7 кг	73,2 кг
Ошибка на 1 дозу	абс.	± 300 г	± 170 г	± 300 г	± 580 г
	отн.	±0,65%	±2,3%	±1,3%	±0,8%
Ошибка на партию (20 доз)	абс.	± 660 г	± 40 г	± 10 г	± 240 г
	отн.	±0,07%	±0,02%	±0,002%	±0,016%

Для этого на подающей трубе был установлен массовый расходомер Pro-mass 631, основанный на принципе измерения кориолисовых сил. Его показания были использованы в качестве сигнала обратной связи контура PID-контроля скорости подачи. В результате получены сравнительно стабильные и предсказуемые дисперсные характеристики выходного продукта.

Другим «узким местом» технологического процесса до модернизации была работа основной весовой станции, которая не обеспечивала требуемую точность дозирования ингредиентов.

Изначально бак основной весовой станции опирался

на два тензодатчика Tedeia-Huntleigh (серия 1260, тип — «балка изгиба»), выполненных из алюминия. Сигнал с них преобразовывался выносным нормирующим устройством в токовый сигнал 4...20 мА, а затем обрабатывался контроллером. К сожалению, совокупность таких факторов, как неудачно выбранные датчики, погрешности преобразования и обработки сигналов, относительно длинный цикл опроса контроллером, привела к недопустимым для технологии ошибкам дозирования ±(1...1,5) кг на 50 кг продукта.

После модернизации обработка сигналов тензодатчиков производится специально предназначенным для этого устройством Siwagex U (погрешность не более 0,05%). Кроме того, была изменена схема крепления бака: он был подвешен на трех тензодатчиках Hoettinger (серия Z6, тип — «балка изгиба»), выполненных из стали.

Подобные проблемы не возникали на весовой станции внесения добавок, где изначально были установлены три тензодатчика Scaime модели F60X (рис. 9). Каждый из этих датчиков имеет диапазон измерения до 100 кг, характеризуется значением комбинированной погрешности не более 0,033% и выполнен из нержавеющей стали. За всё время эксплуатации тензодатчики F60X показали себя достаточно стабильными и точными, поэтому в ходе модернизации обработка формируемых ими сигналов тоже была передана устройству Siwagex U, но сами датчики при этом не заменялись.

Проведённые мероприятия позволили достичь точности дозирования, указанной в табл. 2. При этом формирование одной дозы длится 7 минут с учетом вымешивания и сброса, то есть одна партия (20 доз) обрабатывается 2,5 часа.

Такие результаты были достигнуты во многом благодаря применению корректировочных расчётов: после закрытия клапана определяется вес реально отдозированного продукта, и если этот вес превышает заданный, то в следующую

ший раз клапан будет закрыт на некоторое расчётное время раньше, что позволит приблизить вес новой дозы к заданному. При расчёте текущей поправки учитываются величины коррекции предыдущих доз данной партии.

Помимо этого на достигнутые результаты положительно повлияло использование двухступенчатого дозирования продукта: когда до предельного веса дозы продукта остаётся менее 10 кг, при помощи частотного преобразователя понижается скорость вращения шнека или насоса, подающего продукт, что позволяет точнее отсечь дозу.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Данный проект стал одним из первых промышленных применений системы SIMATIC PCS7 Compact, предназначенной для управления как непрерывными технологическими процессами, так и сложными сборочными производствами. Представленная система базируется на устройствах серии S7, обеспечивает работу с периферией любых производителей, совместимой с интерфейсом PROFIBUS-DP, и обладает широкими возможностями к расширению.

Использованные аппаратные решения позволили добиться высокой точности измерений (до модернизации передозировки составляли десятки килограммов на партию) и чёткой работы оборудования. Реализация расширенной диагностики неисправностей сократила время поиска их причин в два-три раза. Применение для программирования контроллера языков высокого уровня дало возможность:

- 1) провести разработку всего описанного программного комплекса в течение 5 недель;
- 2) упростить все виды работ с программным обеспечением;
- 3) поручить обслуживание рядовым инженерам службы КИП.

В целом модернизация системы автоматизации позволила не только улучшить качество выпускаемой продукции, но и достичь повышения производительности линии. При этом удалось освободить работников линии от выполнения ряда рутинных и небезопасных операций. ●