

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ**

**КАФЕДРА «ИНФОРМАТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЯ»**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ  
РАБОТА**

на тему: **ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ  
САХАРНОЙ СВЕКЛЫ И ОПТИМАЛЬНОЕ  
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМ ПЕРЕРАБОТКИ**

Руководитель работы

Хамидов Б.Т.

Выполнил

Шагазатов О.У.

**Ташкент - 2008**

# СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

<b>Введение</b> .....	3
<b>РАЗДЕЛ 1. Обоснование технологической схемы</b> .....	4
1.1. Получение свекловичной стружки и диффузионного сока .....	4
1.2. Сгушение сока выпариванием .....	9
1.3. Уваривание, кристаллизация и центрифугирование утфелей .....	12
1.4. Сушка и охлаждение сахара .....	17
<b>РАЗДЕЛ 2. Компьютерная автоматизация свеклосахарных производств</b> .....	18
2.1. Система автоматизации диффузионной установки .....	21
2.2. Система автоматизации станции дефекосатурации .....	22
2.3. Система автоматизации выпарной станции .....	24
2.4. Система автоматизации вакуум-аппаратов .....	25
2.4.1. Программное обеспечение нижнего уровня .....	27
2.4.2. Программное обеспечение верхнего уровня .....	28
2.5. Сетевое программное обеспечение .....	30
2.6. Контроллер .....	31
2.7. Решение алгоритмических задач .....	33
<b>РАЗДЕЛ 3. Синтез и анализ оптимальной системы автоматизированного управления при использовании ПИД - закон регулирования</b> .....	34
3.1. Расчет ПИД регулятора .....	34
3.2. использование микропроцессорных регуляторов МИК-21, МИК-25 в АСУТП диффузионного отделения (наклонная диффузионная установка) .....	48
3.2.1. Уровень сокостружечной смеси в аппарате .....	50
3.2.2. Измерение и регулирование температуры в камерах .....	50
<b>РАЗДЕЛ 4. ОХРАНА ТРУДА</b> .....	51
<b>РАЗДЕЛ 5. ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ</b> .....	54
<b>Заключение</b> .....	56
<b>Литература</b> .....	57

## ВВЕДЕНИЕ

Значимой на этапе развития экономики пищевого производства является оптимизация структуры инвестиций свеклосахарного производства, которая обусловлена также тем, что в настоящее время наряду с экономическими показателями, такими как рентабельность, объем производства, придается большое значение социальным показателям, таким как занятость, экологический ущерб и другие. При этом возникает необходимость одновременно учитывать интересы таких хозяйствующих субъектов, как государство, предприятие, домашнее хозяйство. Как следствие, процесс оптимизации принимает многокритериальный характер, что требует применения адекватного математического аппарата. Главной проблемой исследования становится поиск и обоснование способов и методов позволяющих принять оптимальное решение.

Развитие всех областей техники в настоящее время характеризуется широкой автоматизацией различных производственных процессов. При этом освобождается труд человека, повышается точность и скорость выполнения операций, что значительно повышает производительность производства. Автоматизация обеспечивает работу таких объектов, непосредственное обслуживание человеком невозможно из-за вредности, отдаленности или быстрого протекания процесса. В настоящее время резко увеличивается производство различного оборудования для автоматизации промышленности, а также внедряются новые типы автоматических устройств, основанные на последних достижениях науки и техники.

Эффективное использование автоматики в народном хозяйстве возможно лишь при условии рационального решения задач на всех этапах ее разработки и освоения. Наиболее ответственным этапом при проектировании систем автоматизации является их синтез, расчет и последующий анализ, которые на сегодняшний день базируются на теории управления. Эта наука позволяет не только найти параметры, при которых система работает устойчиво, различные качественные показатели системы, но также и оптимизировать систему для более рационального использования различных ресурсов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
					<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	Лит.	Лист	Листов
					ИАБ-2007			

# РАЗДЕЛ 1. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

## 1.1. Получение свекловичной стружки и диффузионного сока

Производство сахара-песка на свеклосахарных заводах осуществляется по типовым технологическим схемам или по схемам, к ним приближающимся. Типовые технологические схемы разрабатываются на основе современных достижений науки и техники при условии получения вырабатываемого продукта высокого качества. Для выполнения отдельных операций в технологической схеме применяется типовое технологическое оборудование.

Для учета количества свеклы, поступающей на переработку в свеклосахарный завод, она взвешивается. Взвешивание свеклы производится на автоматических порционных весах. Для извлечения сахара из свеклы диффузионным способом свекле необходимо придать вид стружки. Процесс получения стружки из свекловичного корня осуществляется на свеклорезках при помощи диффузионных ножей, установленных в специальных рамках. Производительность диффузионной установки и содержание сахара в обессахаренной стружке в очень большой степени зависит от качества стружки. Свекловичная стружка, получаемая на свеклорезках в настоящее время, может быть желобчатой или пластинчатой в зависимости от типа диффузионного аппарата. Толщина нормальной стружки составляет (0.5-1) мм. Поверхность ее должна быть гладкой без трещин. Слишком тонкая стружка нежелательна, так как она деформируется, сбивается в комки и ухудшает циркуляцию сока в диффузионных установках. Качество свекловичной стружки принято определять длиной ее в метрах в навеске массой 100 г. Хорошим показателем качества стружки может являться температура и давление на слой.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
					<b>ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ</b>	Лист	Лист	Листов
						<b>ИАБ-2007</b>		

Для получения качественной свекловичной стружки на центробежных свеклорезках необходимо, чтобы свекла в процессе изрезывания с достаточным усилием прижималась к поверхности ножей и внутренней поверхности барабана. Для центробежных свеклорезок с диаметром барабана 1200 мм при скорости резания 8.2 м/с давление на внутреннюю поверхность барабана около 40 кПа.

На центробежных свеклорезках при нормальных условиях эксплуатации получают стружку наилучшего качества, при этом расходуется наименьшее количество ножей на изрезывание 100 т свеклы по сравнению с другими конструкциями свеклорезок. Производительность свеклорезок можно регулировать изменением частоты вращения ротора или количеством работающих ножей. При переработке волокнистой свеклы диффузионные ножи часто забиваются волокнами и получить стружку хорошего качества невозможно. Для очистки ножей применяется продувка их паром или сжатым воздухом с избыточным давлением 0,7 МПа. После того, как свекла была изрезана в стружку, стружка по ленточному транспортеру направляется к диффузионному аппарату, предварительно производят взвешивание стружки ленточными весами.

Диффузией называется извлечение из сложного по своему составу вещества, с помощью растворителя.

В механизированных диффузионных аппаратах непрерывного действия свекловичная стружка и диффузионный сок находятся в непрерывном противоточном движении.

Важнейшее требование, предъявляемое к диффузионным аппаратам - это строгое соблюдение принципа противотока сока и стружки при равномерном заполнении всего аппарата. Хорошая работа диффузионного аппарата возможна только на стружке высокого качества. Стружка не должна перемешиваться в ходе процесса, а лишь перемещаться, если в аппарате имеются транспортирующие устройства. Для получения диффузионного сока высокого качества в аппарате следует поддерживать определенную

температуру, а длительность диффундирования должна быть оптимальной. Диффузионный процесс необходимо осуществлять при отсутствии воздуха, так как при доступе воздуха диффузионный сок сильно пенится, в нем усиленно развиваются микроорганизмы, вызывающие коррозию стенок аппарата. Потери сахара в процессе диффузии не должны превышать установленных норм, а потери тепла должны быть минимальными. Диффузионные аппараты не должны быть сложными в обслуживании и ремонте.

Достоинствами наклонных диффузионных аппаратов являются: компактность, удобство в обслуживании, относительно низкие потери сахара в жоме, низкая откачка, возможность автоматизации работы.

К недостаткам относятся следующие параметры: измельчение стружки при транспортировке, разные порции стружки находятся в разное время в аппарате, причиной этого является неэффективность транспортирующих органов.

Основные технологические показатели наклонного диффузионного аппарата:

Длина 100 г стружки	9-12 мм
Потери сахара в жоме	0,3% к массе свеклы
Откачка сока	120% к массе свеклы
Время пребывания стружки в аппарате	70-100 мин.
Температурный режим по камерам в аппарате, °С	68;70;72;68

Более жесткий температурный режим в аппаратах непрерывного действия вызвал применение более грубой стружки и необходимость подавления микробиологических процессов. Для регулирования температуры применяют воду для экстракции стружки с  $t=70^{\circ}\text{C}$  и pH 6,2-6,5. Повышение микробиологических процессов повлекло за собой неучтенные потери сахара и коррозию аппаратов.

При соблюдении оптимального технологического режима, в первую очередь температуры, когда деятельность микроорганизмов подавлена,

неучтенные потери не превышают 0,13% к массе свеклы. Когда режим нарушен, или поступает свекла низкого качества с большим содержанием обломков, зараженной бактериями, грибами; жизнедеятельность микроорганизмов интенсифицируется и неопределенна, потери сахарозы возрастают до 0,5% и более, что отрицательно сказывается не только на работе диффузионной установки, но и на работе всего завода, так как каждая из 0,1% неучтенных потерь сахарозы приводит к снижению выхода сахара на (0,2-0,25)% к массе свеклы.

Так как в головной и хвостовой частях аппарата часто бывает температура 60 С и ниже, то для подавления микрофлоры в точку, расположенную на 1/4 активной длины диффузионного аппарата, от места подачи свежей воды, через каждые два часа вводят 40%-ый раствор формалина (10л на 100 т свеклы).

Для достижения более длительного действия антисептика и уменьшения его расхода, эту дозу формалина можно разделить на несколько частей и вводить одновременно и быстро в разные точки диффузионного аппарата.

На диффузии сахарозы переходит на 98% в диффузионный сок, солей кальция на 80%, солей натрия на 60%, белковых веществ на 30%.

Выходящий из диффузионного аппарата свежий жом прессуют до содержания сухих веществ 22%, что дает возможность возвращать жомопрессовую воду на диффузию.

После диффузионной установки жом направляется на двухступенчатое прессование. После первой ступени наклонных прессов СВ=12%, жом направляется либо на вторую ступень прессования до СВ=22%, либо - на реализацию свеклосдатчикам.

После второй ступени прессования жом направляется в отделение высушивания в барабанных жомосушках до СВ=87%.

Жомопрессовую воду перед возвращением в диффузионный аппарат подвергают очистке: фильтрации, тепловой стерилизации и т.д. Схема

работает следующим образом. Жомопрессовая вода через мезголовушку поступает в сборник исходной воды и оттуда насосом подается в одноходовой пароконтактный подогреватель I ступени, где нагревается паром самоиспарения отработанной воды. Из подогревателя вода проходит через гидрозатвор с высотой столба жидкости около 9 м и поступает в одноходовой пароконтактный подогреватель II ступени, где вторичным паром IV или III ступени выпарной установки подогревается до температуры  $(85-90)^{\circ}\text{C}$ . Из подогревателя вода поступает в цилиндрический отстойник, где в течении (10-12) мин осветляется, стерилизуется и направляется в охладитель. Очищенная жомопрессовая вода, охлажденная до  $(70-75)^{\circ}\text{C}$ , поступает в сборник жомопрессовой воды. Использование аммиачных конденсатов в качестве питательной воды весьма выгодно. Но для того, чтобы использовать ее на диффузии, ее необходимо подготовить.

По схеме барометрическая вода из сборника насосом подается в дефекосатуратор, где повышают рН воды до 11-11.5. В контрольный ящик дефекосатуратора подается аммиачная и жомопрессовая воды из сборников. Затем смесь барометрической, аммиачной и жомопрессовой вод поступает в сульфитатор I ступени, потом в сульфитатор II ступени, в результате чего рН воды снижается до 6-6.5. Далее сульфитированная добавочная вода подогревается в пароконтактном подогревателе до температуры  $75-85^{\circ}\text{C}$  и аэрируется перед попаданием в сборник питательной воды на диффузию, в котором она имеет следующие параметры:  $\text{pH}=6-6,5$ ;  $t=70^{\circ}\text{C}$ . Подготовленная вода поступает на диффузию.

Удаление аммиака осуществляется продуванием аммиачной воды в течение 12-15 мин диспергированным воздухом.

При переработке свеклы пониженного качества аммиачные конденсаты обрабатывают ортофосфорной кислотой, которая осаждает ионы железа, аммония, магния, а с ионами кальция при  $\text{pH}=5.8-6.5$  образует соль кальция. Эта соль кальция переводит пектиновые вещества в нерастворимое состояние

и делает свекловидную стружку более упругой. На дефекации ортофосфорная кислота полностью осаждается.

Такой способ подготовки питательной воды предусматривает подщелачивание ее известью до рН 11.5, сульфикацию до рН 7.0-7.2 и добавление ортофосфорной кислоты до рН 5.8-6.5.

Диффузионный сок, освобождаясь от мезги на ротационной пульполовушке типа ПР-25/30, направляется на известково-углекислотную очистку.

## **1.2. Сгущение сока выпариванием**

По значению выполняемых функций, сложности и стоимости в тепловой схеме центральное место занимает выпарная установка, которая состоит из отдельных аппаратов.

Сок II сатурации должен быть сгущен до сиропа с содержанием сухих веществ до 65-70% при первоначальном значении этой величины 14-16%.

Выпарная установка позволяет расходовать на сгущение сока 40-50% пара к массе всего сока за счет многократного использования парового тепла.

Сок поступает в I корпус, а затем проходит все корпуса установки последовательно и из концентратора удаляется сироп.

Ретурный пар используется только в I корпусе выпарной установки. Последующие корпуса обогреваются вторичными парами предыдущих корпусов. Из последнего корпуса соковый пар поступает на концентратор, а с него на конденсатор.

Число ступеней выпарной установки выбирается на основании технико-экономического расчета, в котором учитывается: капитальные затраты, эксплуатационные расходы. Увеличение числа ступеней выпарной установки (ВУ) приводит, с одной стороны, к уменьшению расхода греющего пара, что влечет за собой уменьшение эксплуатационных расходов, с другой стороны, к увеличению суммарной поверхности нагрева выпарных аппаратов, что приводит к увеличению капитальных затрат.

На выбор числа ступеней существенное влияние оказывает температурный режим ВУ, т.е. условие, что полезная разность температур в каждом корпусе должна быть не менее  $6-8^{\circ}\text{C}$ .

Четырехкорпусная ВУ с концентратором отличается повышенной устойчивостью в эксплуатации и высокой тепловой экономичностью, благодаря большой кратности использования ее вторичных паров. Эта ВУ в настоящее время принята в качестве типовой. Масса воды ( $W$ ), выпариваемой в ВУ, зависит от содержания сухих веществ в очищенном соке и сиропе.

Образующийся в выпарных аппаратах и других теплообменниках конденсат систематически выводится в сборники через конденсатные колонки. Конденсат отработавшего пара используется для питания паровых котлов, а конденсат вторичных паров - для нагрева различных промежуточных продуктов.

Необходимо постоянно отводить неконденсирующиеся газы из паровых камер, которые накапливаясь в верхней части греющих камер, препятствуют потоку притекать к поверхности теплообменника. Неконденсирующиеся газы из верхней части греющих камер по трубопроводам выводятся в пространство с давлением пара на одну ступень ниже, чем давление греющего пара. При таких условиях отводимый с газами пар не теряется бесполезно; кроме того, из-за разности давлений создается непрерывное движение газа от I корпуса к конденсатору смешения.

Для создания разрежения в последнем корпусе и концентраторе и удаления неконденсирующихся газов из системы в схему включена вакуум-кондесационная установка, состоящая из двух ступеней: предконденсатора, основного конденсатора, каплеловушек, сборников барометрической воды и вакуум-компрессора.

При выпаривании в соке происходят химические превращения: снижение рН, нарастание цветности, образование осадков. Эти процессы

протекают наиболее интенсивно в термолабильном соке, т.е. соке, неустойчивом к температурному воздействию.

Снижение pH обусловлено разложением в соке 0.04-0.06% сахарозы, до 30% редуцирующих веществ и образованием органических кислот. Чтобы поддерживать необходимый pH в ВУ (примерно 7.5-8), в сок перед П сатурацией добавляют тринатрийфосфат.

Цветность сиропа нарастает в результате разложения редуцирующих веществ и их взаимодействиями с аминокислотами, а также карамелизации сахарозы. Интенсивность этих реакций зависит от pH, t, концентрации реагирующих веществ, реагентов, продолжительности выпаривания, наличия ионов железа и прочих факторов.

Результатом образования осадков в сиропе при выпаривании является снижение растворимости солей Са, когда они оказываются в пересыщенном состоянии и их избыток выкристаллизовывается.

Одним из эффективных способов торможения реакции образования красящих веществ в ВУ является достижение достаточного полного разложения редуцирующих сахаров в процессе очистки сока и минимального разложения сахарозы при выпаривании. Немаловажное значение имеют также содержание оптимального уровня в кипятильных трубках и равномерное распределение греющего пара в греющих камерах выпарных аппаратов, что предохраняет поверхности нагрева в местах ввода пара от пригорания сахара.

Образование накипи на внутренней поверхности трубок выпарных аппаратов вследствие выделения и осаждения солей минерального происхождения постоянно снижает коэффициент теплопередачи и приводит к понижению производительности станции. Для восстановления нормальной работы выпарной станции применяются механические методы или химические методы очистки поверхности нагрева.

Иногда используют деминерализацию сока перед выпариванием путем пропускания его через ионообменные смолы.

Борьба с накипеобразованием в теплообменной аппаратуре возможна с помощью ультразвуковых колебаний, которые нарушают обычный процесс образования накипи и действуют разрушающе на нее.

### **13. Уваривание, кристаллизация и центрифугирование утфелей.**

Кристаллизация сахара - завершающий этап в его производстве. Здесь выделяют практически чистую сахарозу из многокомпонентной смеси, которой является сироп.

В сокоочистительном отделении из диффузионного сока удаляется около 1/3 несахаров, остальные несахара вместе с сахарозой поступают в продуктивное отделение, где большая часть сахарозы выкристаллизовывается в виде сахара-песка, а несахара остаются в межкристальном растворе.

Выход сахара на 75% зависит от потерь сахара в мелассе. Потери в продуктивном отделении определяют технико-экономические показатели завода. Качество сахара прямо связано с потерями его в мелассе. Задачей оптимизации технологического процесса является выбор между глубоким истощением мелассы и качеством песка.

Задача получения сахара стандартного качества решается с помощью многоступенчатой кристаллизации, при этом потери будут минимальны.

Наибольшее распространение получили двухступенчатая и трехступенчатая схемы продуктового отделения. Для получения сахара хорошего качества используют гибкие схемы, предусматривающие оперативное перераспределение потоков в соответствии с ситуацией на заводе.

Рациональная технологическая схема продуктового отделения должна иметь столько ступеней кристаллизации, чтобы суммарный эффект кристаллизации составлял 30-33%, а коэффициент завода составлял бы 80% при среднем качестве свеклы.

В достоинство трехпродуктовой схемы можно включить более высокий выход (37%) и высокое качество получаемого товарного продукта. От прочих схем она отличается прямоточностью, существует один рециркуляционный контур - возврат клеровки.

Исходным сырьем для продуктового отделения является сульфитированная смесь сиропа с клеровкой сахаров II кристаллизации и сахара-афинада III кристаллизации с чистотой не менее 92%.

Из этой смеси в вакуум-аппаратах I продукта уваривают утфель I кристаллизации до массовой доли сухих веществ 92.5%, при этом содержание кристаллов в утфеле составляет 55%.

Уваривание осуществляют в вакуум-аппаратах периодического действия, поэтому после уваривания утфель выгружается в буферную промежуточную емкость приемной мешалки. После выгрузки аппарат пропаривается экстра-паром I корпуса выпарной установки и пропарка направляется в клеровочную мешалку. Если пропарка проводится ретурным паром, то ее можно направлять в приемную мешалку, где при смешивании с утфелем растворяется около 2-3% кристаллов.

Утфель центрифугируют нагорячо ( $t=70-75^{\circ}\text{C}$ ), при этом реко мендуется использовать центрифуги с фактором разделения 1000. При фуговке отделяем 2 оттека. На первой стадии выделяется "зеленая" патока I, которая направляется в сборник под центрифугой и перекачивается в сборник перед вакуум-аппаратами, для создания запаса зеленой патоки для уваривания утфеля II.

По окончании отделения зеленой патоки в ротор центрифуги подается горячая артезианская вода в количестве 3.0-3,5% по массе сахара, проводится пробелка сахара и выделяется II оттек утфеля I кристаллизации, который направляется в сборник под центрифугами, а затем перекачивается в сборник перед вакуум-аппаратами, где создается запас для уваривания утфеля II. Разность доброкачественности оттеков должна быть 5-7 единиц.

Выгруженный из центрифуг сахар-песок транспортируют для высушивания, охлаждения, отделения ферромагнитных примесей, комков сахара и пудры. Затем он поступает в бункеры, откуда в склад бестарного хранения или на упаковку.

Уловленную циклонами сахарную пыль, а также комочки сахара с виброконвейера и из сушильного барабана растворяют в очищенном соке и подают в клеровочные мешалки.

Белая и зеленая патоки используются для уваривания утфеля II (промежуточного) продукта. В процессе уваривания в начале в вакуум-аппарат забирается белая патока и в конце зеленая патока. Утфель II продукта уваривают до массовой доли сухих веществ 93-94%, при этом содержание кристаллов в утфеле достигает 45%. Используют вакуум-аппараты периодического действия. После уваривания утфель выгружают в приемную мешалку. Вакуум-аппараты пропаривают экстра-паром I корпуса, пропарку направляют в приемную мешалку, Из приемной мешалки утфель II кристаллизации нагорячо (70-75<sup>0</sup>С) направляют на центрифугирование. Для этого рекомендуется использовать центрифуги непрерывного действия с коническим ротором, снабженным сегрегатором. Центрифугирование может проводиться с пробеливанием или без него. В любом случае после пробеливания оба отека соединяются в одном сборнике под центрифугами, а затем перекачиваются в сборник перед вакуум-аппаратами, для создания запаса для уваривания утфеля III продукта.

Желтый сахар II шнеком направляют в клеровочную мешалку, где растворяют сульфитированным соком II сатурации или сиропом.

Клеровка с массовой долей сухих веществ 65-72% направляется в сборник сиропа после выпарной установки, где смешивается с сиропом и направляется на сульфитацию, а затем используется для уваривания утфеля I.

Из белой и зеленой патоки II уваривают утфель III кристаллизации в вакуум-аппаратах периодического действия ( ) до значения массовой доли

СВ=94-96%, при этом содержание кристаллов в утфеле 35-37%. Дальнейшее сгущение и кристаллизация в вакуум-аппаратах невозможна, т.к. вязкость утфеля становится чрезмерно высокой, но межкристальный раствор утфеля в вакуум-аппаратах недостаточно истощен. Чистота раствора составляет 65-67%. Из него еще можно выделить сахарозу. Истощение раствора считается нормальным, когда чистота его уменьшается до 55-58%. т.е. для дальнейшего истощения необходимо провести второй этап кристаллизации утфеля III методом охлаждения - для этого утфель выгружают в приемную мешалку утфеля III.

Вакуум-аппараты пропаривают экстра-паром I корпуса выпарки, пропарка направляется в приемную мешалку и перемешивается с утфелем. Из приемной мешалки утфель направляют в батарею кристаллизаторов с вращающейся поверхностью охлаждения, при движении по кристаллизатору температура утфеля уменьшается с  $70^{\circ}\text{C}$  до  $35^{\circ}\text{C}$ . За счет уменьшения растворимости сахароза выделяется из раствора на поверхности кристаллизатора, за счет этого чистота межкристального раствора уменьшается примерно на 10 единиц (от 65 до 55%), а содержание кристаллов в утфеле повышается от 35-37% до 44-48%. Из последнего кристаллизатора утфель непрерывно подается в утфелераспределитель с вращающейся поверхностью теплообмена. В утфелераспределителе осуществляется подготовка утфеля III продукта к центрифугированию методом подогрева, раскочки при подогреве с 30-35 до  $40-45^{\circ}\text{C}$ , при раскочке температура постоянна.

Разделение утфеля III кристаллизации осуществляется в центрифугах периодического действия с фактором разделения 1500 или центрифугах непрерывного действия с двумя коническими роторами, при этом в первом роторе выделяется меласса, во втором проводится аффинация желтого сахара. При переходе желтого сахара с первого ротора на слой желтого сахара подается аффинирующий раствор: зеленая патока I, разбавленная до массовой доли сухих веществ 75% и подогретая до  $t=80^{\circ}\text{C}$ . Со второго ротора

отводится аффинационный оттек, который собирается в сборник под центрифугой и перекачивается в сборник перед вакуум-аппаратами. Из сборника перед вакуум-аппаратом отбирается на уваривание утфеля III на последние подкачки.

При использовании центрифуг периодического действия в центрифуге выделяется меласса, желтый сахар выгружается в аффинационную мешалку, куда подается аффинирующий раствор (разбавленная зеленая патока I в количестве 60% по массе желтого сахара).

В мешалке желтый сахар 10 минут перемешивается с аффинирующим раствором и насосом подается на центрифугирование. Рекомендуется использовать центрифуги непрерывного действия с коническим ротором. При центрифугировании выделяется один аффинационный оттек. Желтый сахар III выгружается и шнеком подается в клеровочную мешалку, где растворяется с желтым сахаром II сульфитированным соком II сатурации или сиропом.

Меласса - отход производства, взвешивается и направляется в мелассохранилище.

При изменении качества перерабатываемой заводом свеклы необходимо производить соответствующую корректировку трехкристаллизационной схемы:

а) при переработке свеклы с полученным сиропом из ВУ доброкачественностью 91-92% часть первого оттека утфеля I направляют на уваривание утфеля III кристаллизации;

б) при получении сиропа с  $D_b=90\%$  переходят на работу по двухкристаллизационной схеме.

Целесообразно также применять трехкристаллизационную схему ВНИИСП, которая имеет следующие отличительные особенности:

- утфель III уваривают на кристаллической основе утфеля II из общего оттека утфеля II и аффинационного оттека;

- аффинационный утфель центрифугируют совместно с утфелем II.

При поступлении на уваривание должны выполняться следующие качественные требования к продуктам: сироп в смеси с клеровкой должен содержать не менее 65% массовой доли СВ, быть прозрачным и иметь рН 7.8-8.2, содержание солей Са 0.12-0.5% СаО к массе сиропа, цветность не более 40 усл. ед.

Получаемый сахар-песок должен соответствовать требованиям ГОСТ 21-78.

Эффект кристаллизации утфеля I должен составлять 12-13 ед., утфеля II - 5-7 ед., утфеля III - 10-12 ед.

При уваривании утфелей происходит:

- увеличение цветности в результате разложения редуцирующих веществ, в основном, меланоидинов. В конце уваривания цветность утфеля III увеличивается в несколько раз, а утфеля I и II - в 1.5-2 раза.

- понижение рН, из-за разложения редуцирующих сахаров образуются органические кислоты, способствующие увеличению инверсии.

#### **14. Сушка и охлаждение сахара**

Целью сушки является удаление поверхностной влаги и обеспечение длительного хранения кристаллического сахара. На сушку направляется сахар с  $t=60^{\circ}\text{C}$  после центрифугирования и влажностью 0.8-1.2%.

Для обеспечения длительного хранения влажность должна соответствовать относительной влажности хранилища. Влажность и температуру нормируют в зависимости от способа хранения.

Существуют два способа хранения: тарный в мешках 50 кг влажность до 0.14% и температура до  $25^{\circ}\text{C}$  и бестарный - в силосах емкостью 10000-20000 т влажностью не более 0.04% и  $t$  до  $22^{\circ}\text{C}$ .

После центрифуг сахар-песок влажностью 0.8-1.8% подают виброконвейером к элеватору. Влажный сахар поднимается элеватором и попадает в сушильную часть установки, где высушивается горячим воздухом ( $t=105^{\circ}\text{C}$ ). Сушка производится в прямотоке, что позволяет не превышать критическую температуру разложения сахарозы ( $85^{\circ}\text{C}$ ). Охлаждение сахара осуществляется в противотоке, температура сахара понижается до  $20^{\circ}\text{C}$ .

## РАЗДЕЛ 2. КОМПЬЮТЕРНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ СВЕКЛОСАХАРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

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.

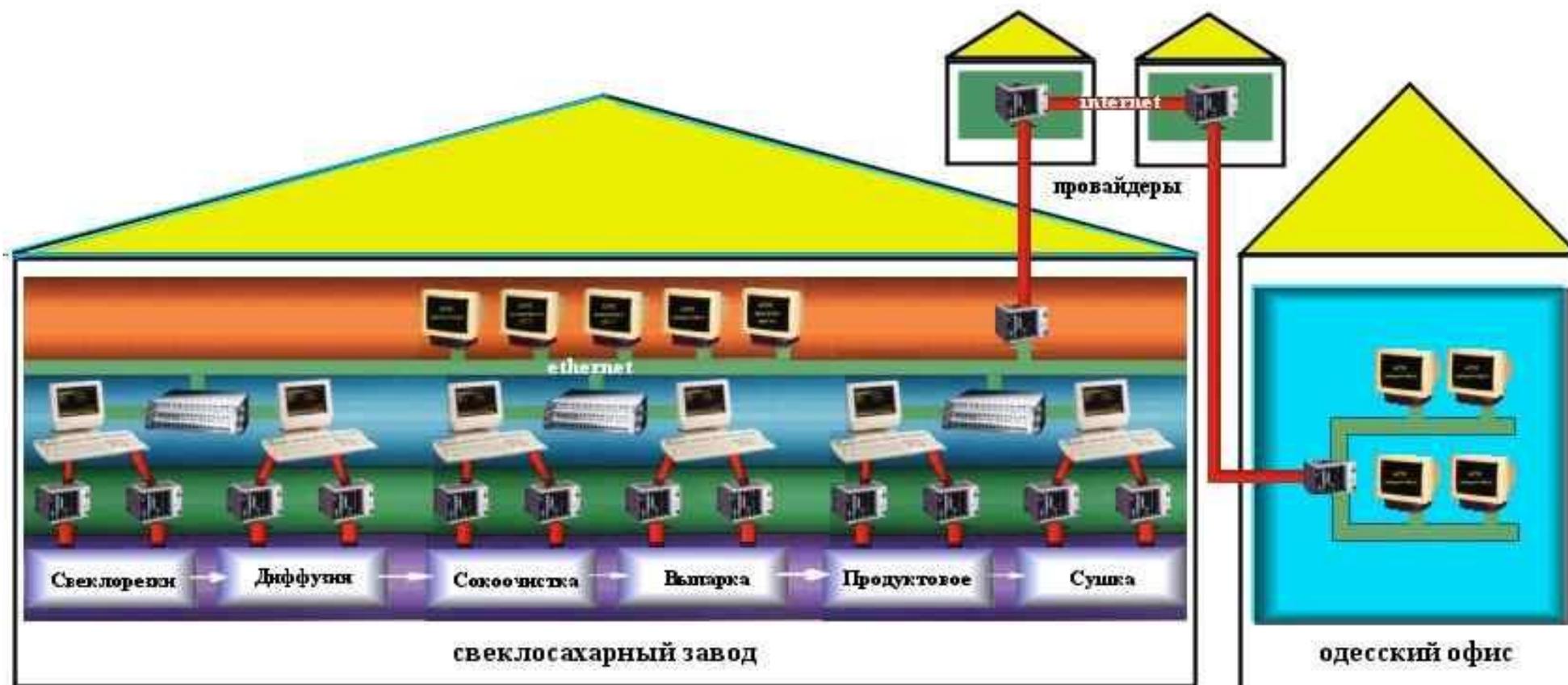
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
					<b>КОМПЬЮТЕРНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ СВЕКЛОСАХАРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ</b>			
						ИАБ-2007		

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 времени 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.

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

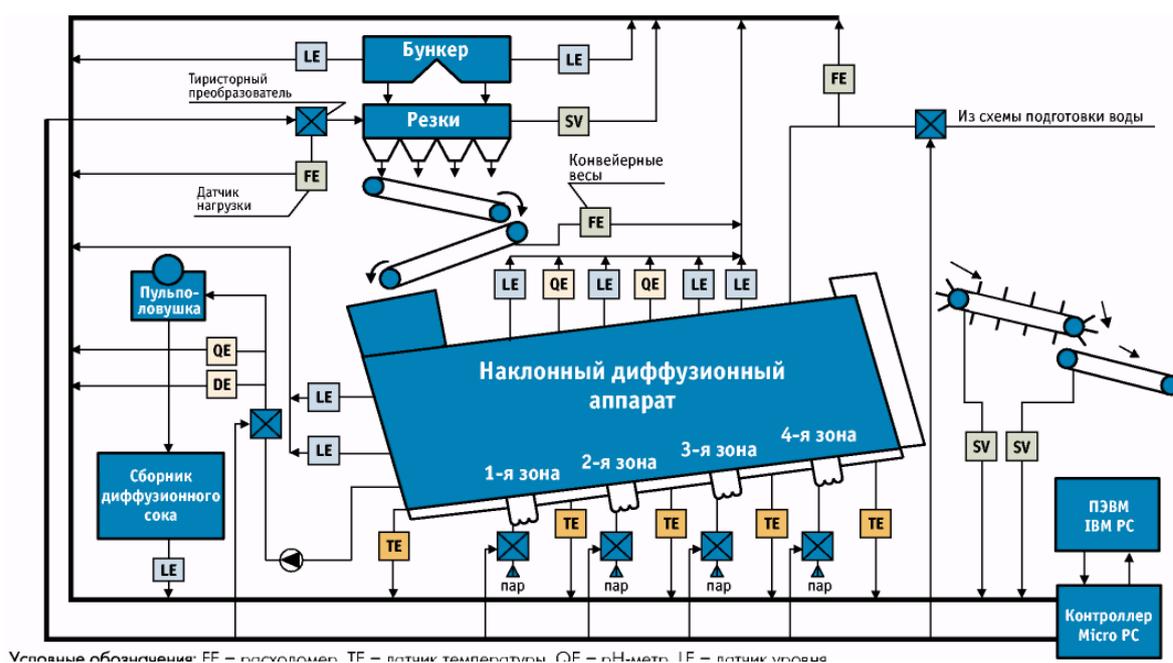
Пользователи по достоинству оценили функциональные возможности и экономическую эффективность внедренных систем автоматизации основных технологических станций.



Многоуровневая система компьютерного управления

## 2.1. Система автоматизации диффузионной установки

Диффузионные аппараты предназначены для извлечения сахара из свекловичной стружки методом противоточной 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.



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

Рис. 1. Система автоматизации диффузионной установки

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 свеклорезками 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 ус-гановки 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.

## **2.2. 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;

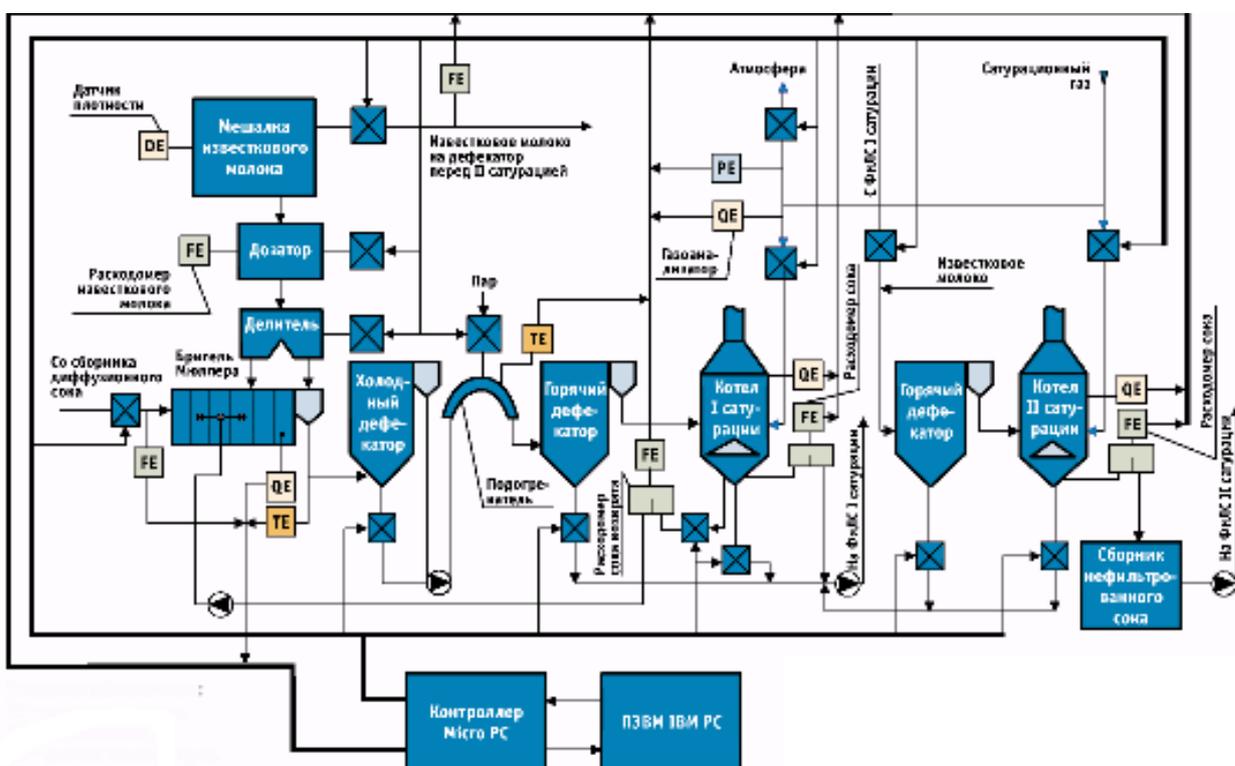
3-я ступень — аппараты дефекации II ступени и II сатурации.

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, Н-метры, рефрактометр, газоанализатор, расходомеры, запорно-регулирующую арматуру (шаровые краны и дисковые затворы), пневмоэлектро- и электропневмообразо-

ватели, 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 (сухому веществу) диффузионного сока;



Условные обозначения:

PE — датчик давления, FE — расходомер, TE — датчик температуры, QE — рН-метр.

Рис. 2. Система автоматизации станции дефекосатурации

- оптимизировать подачу сатурационного газа в котлы I и II сатурации за счет поддержания давления в коллекторе газа, контроля  $\text{CO}_2$  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;
- 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 дефекосатурации представлена на рис. 2.

### **2.3. Система автоматизации выпарной станции**

Выпарные аппараты предназначены для сгущения свекловичного 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.

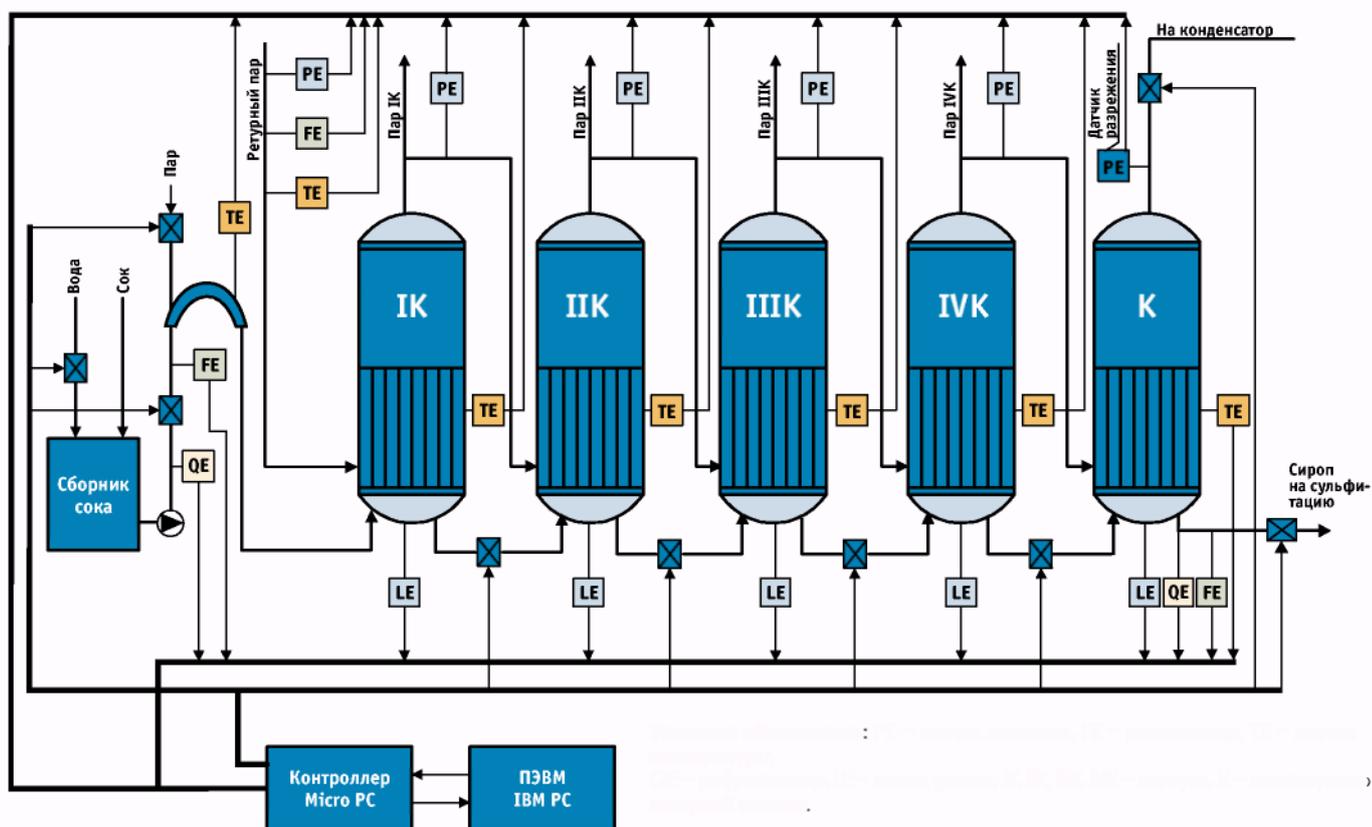
Система автоматизации выпарной станции включает в себя датчики уровня, давления, разрежения, температуры, рН-метры, рефрактометр, расходомеры, запорно-регулирующую арматуру (шаровые краны и дисковые затворы), пневмоэлектро- и электропневмо-преобразователи, контроллер на базе MicroPC и ПЭВМ IBM PC.

Алгоритм управления выпарной 46 станцией позволяет:

- стабилизировать поток сока по корпусам выпарной станции;
- оптимизировать подачу ретурного пара и распределение потребителей экстрапаров 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.



Условные обозначения: PE — датчик давления, FE — расходомер, TE — датчик температуры, QE — рефрактометр, LE — датчик уровня, IK, ПК, ШК, IVK — корпуса, К — концентратор выпарной станции.

Рис. 3. Система автоматизации выпарной станции

#### 2.4. 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 межкристальном растворе. Утфель — смесь кристаллов сахара и межкристального раствора — из вакуум-аппарата подается в центрифуги, где разделяется на сахар-песок Дат и отек.

- 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.

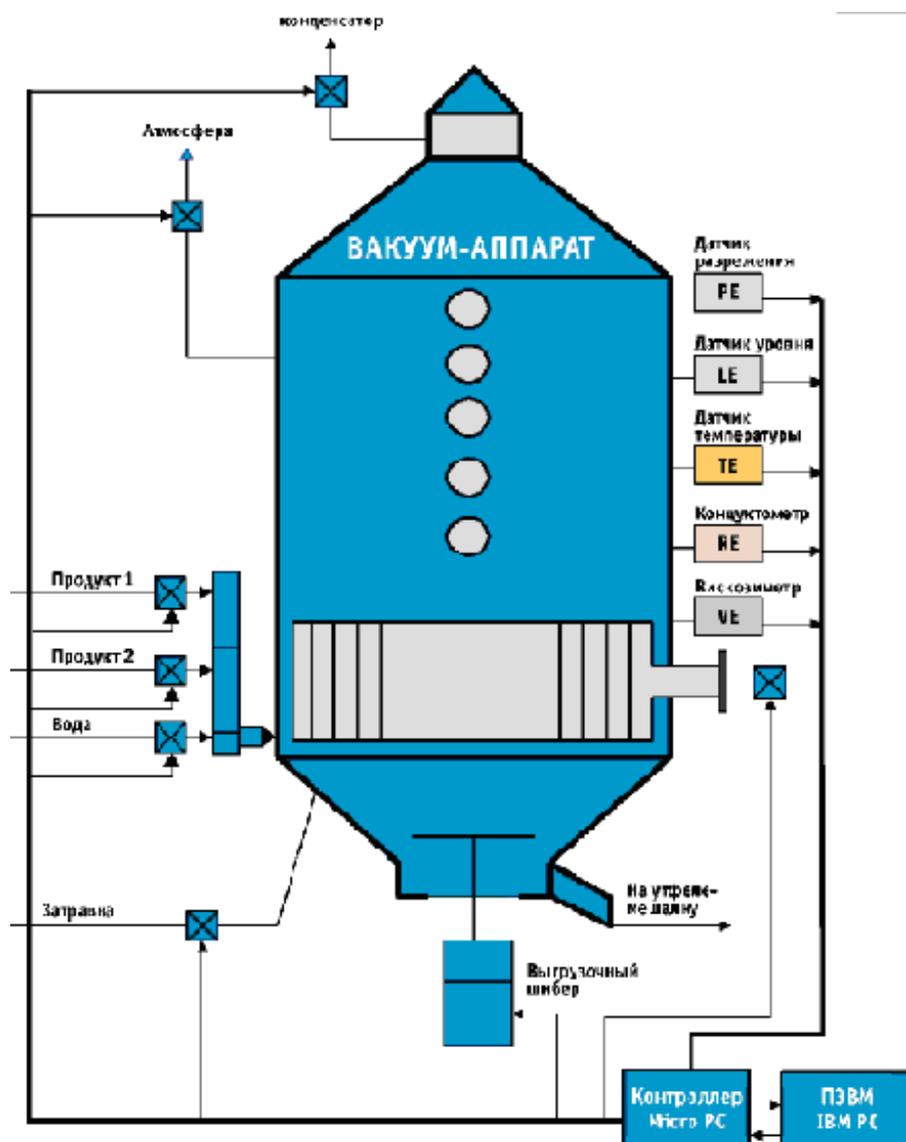


Рис. 4. Система автоматизации вакуум-аппарата  
Описание программного обеспечения

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

#### **2.4.1. 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.)

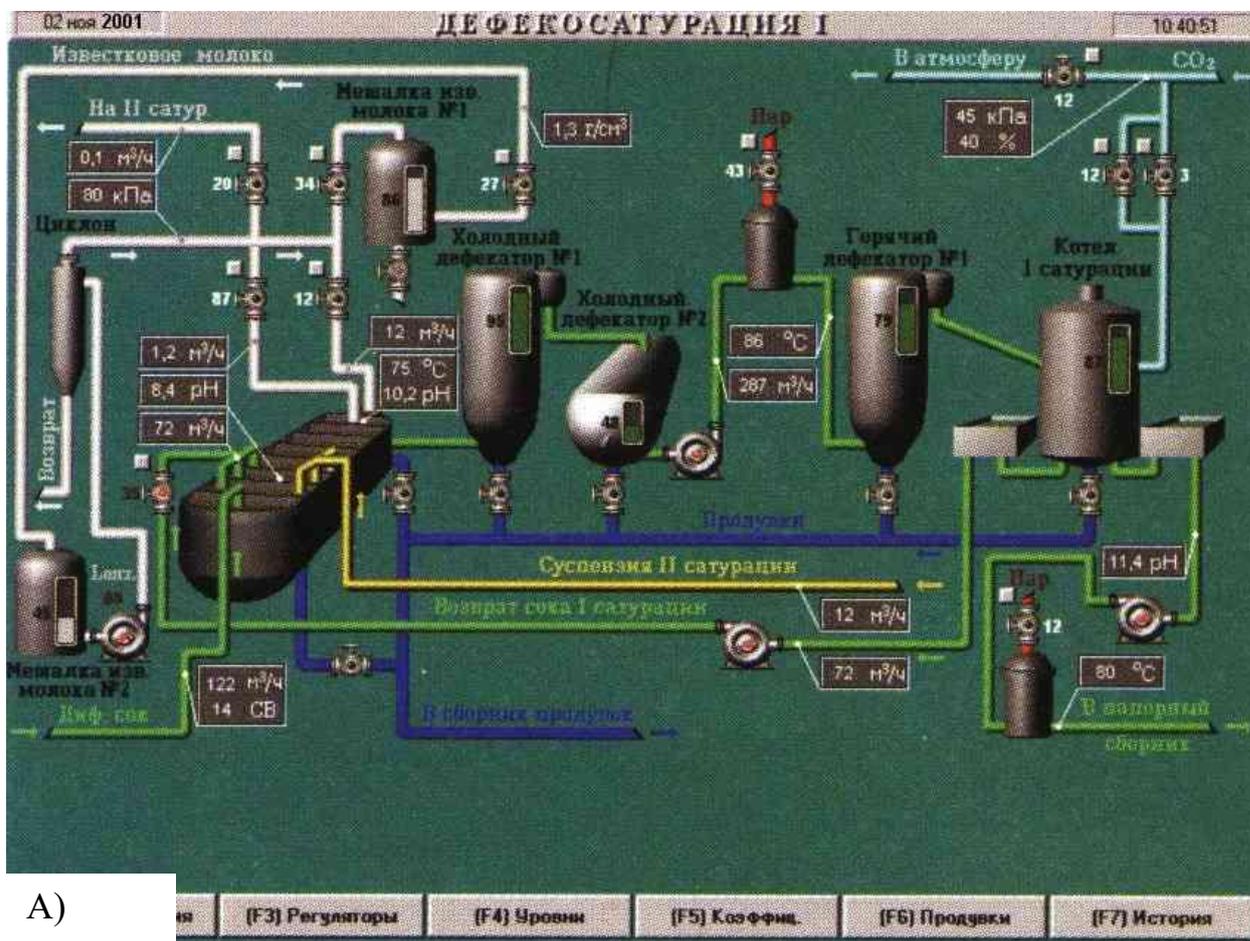
База данных хранится в энергонезависимом ОЗУ и при старте процессора считывается в оперативную память, где и происходит ее обработка. Все изменения базы, производимые с ПЭВМ (например настройки регуляторов), заносятся как в энергонезависимое ОЗУ, так и в обычное, что позволяет сохранить настройки даже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

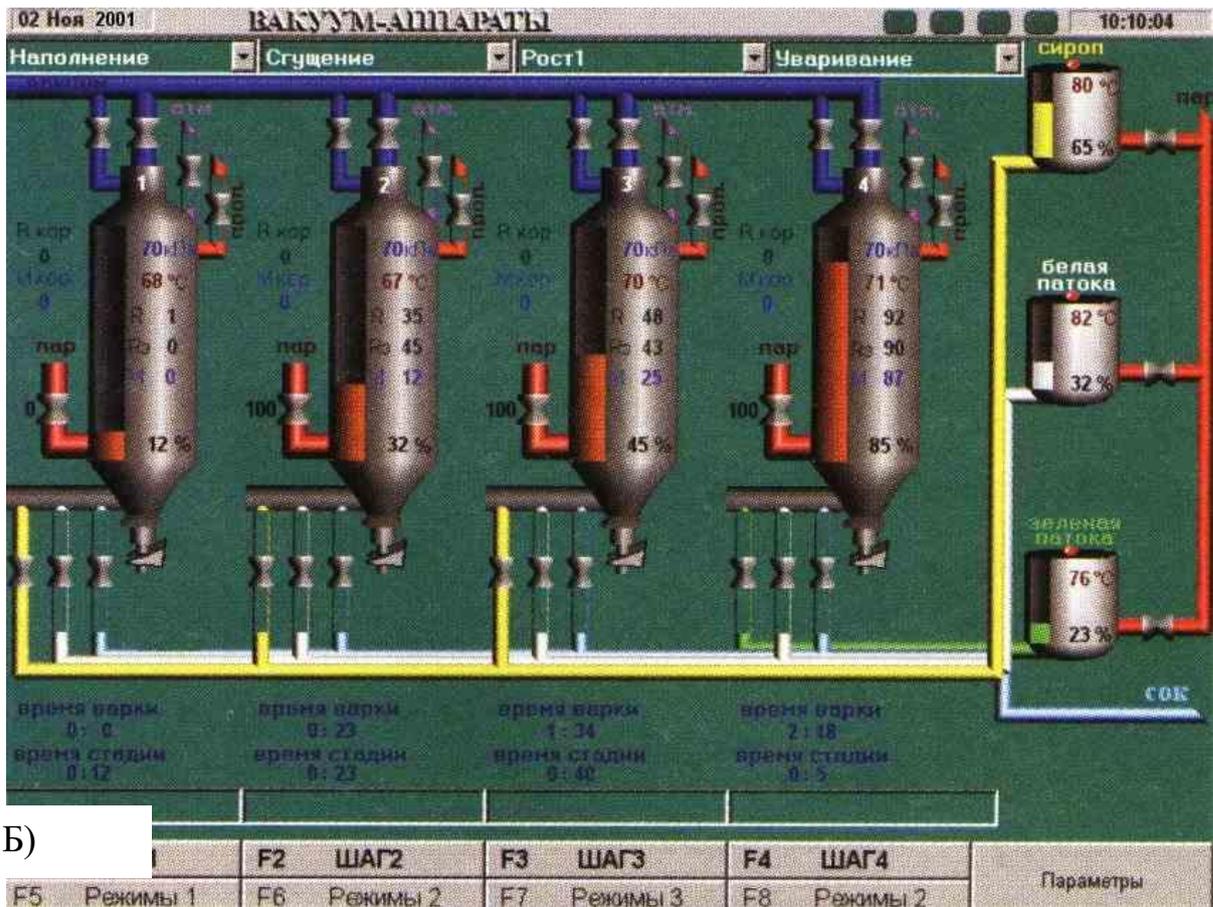
Программа пользователя представляет собой com или exe-файл, написанный на любом языке программирования, размером не более 64 кбайт. Программа хранится в энергонезависимом ОЗУ и при старте процессора считывается оттуда и запускается на выполнение. Возможна загрузка новой программы в энергонезависимое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

### 2.4.2. Программное обеспечение верхнего уровня

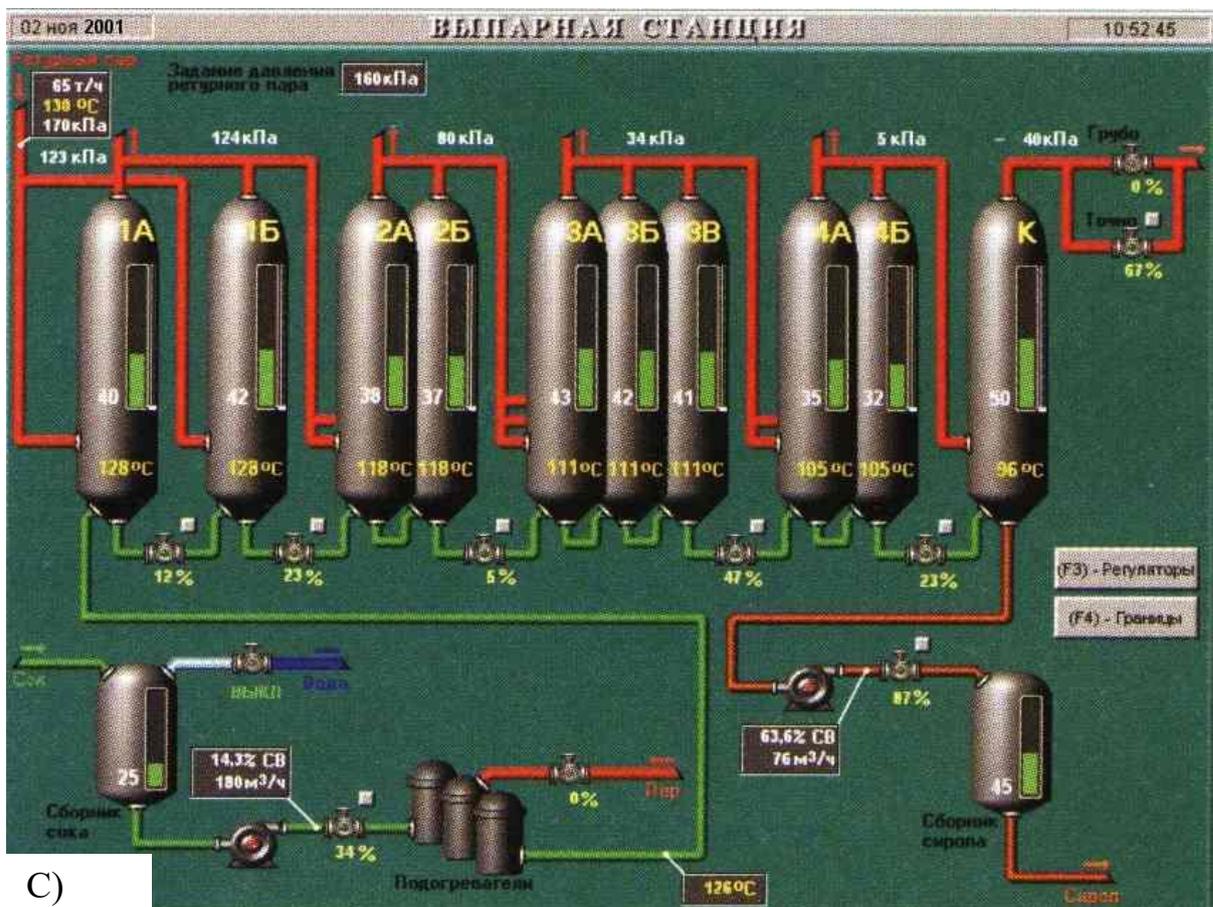
Программное обеспечение верхнего уровня, функционирующее в ПЭВМ, представляет собой пакет программ, обеспечивающий

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





Б)



С)

Рис. 5 А.Б.С. Мнемосхемы участков технологического процесса

- 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.

## **2.5. 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 рабочих 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).

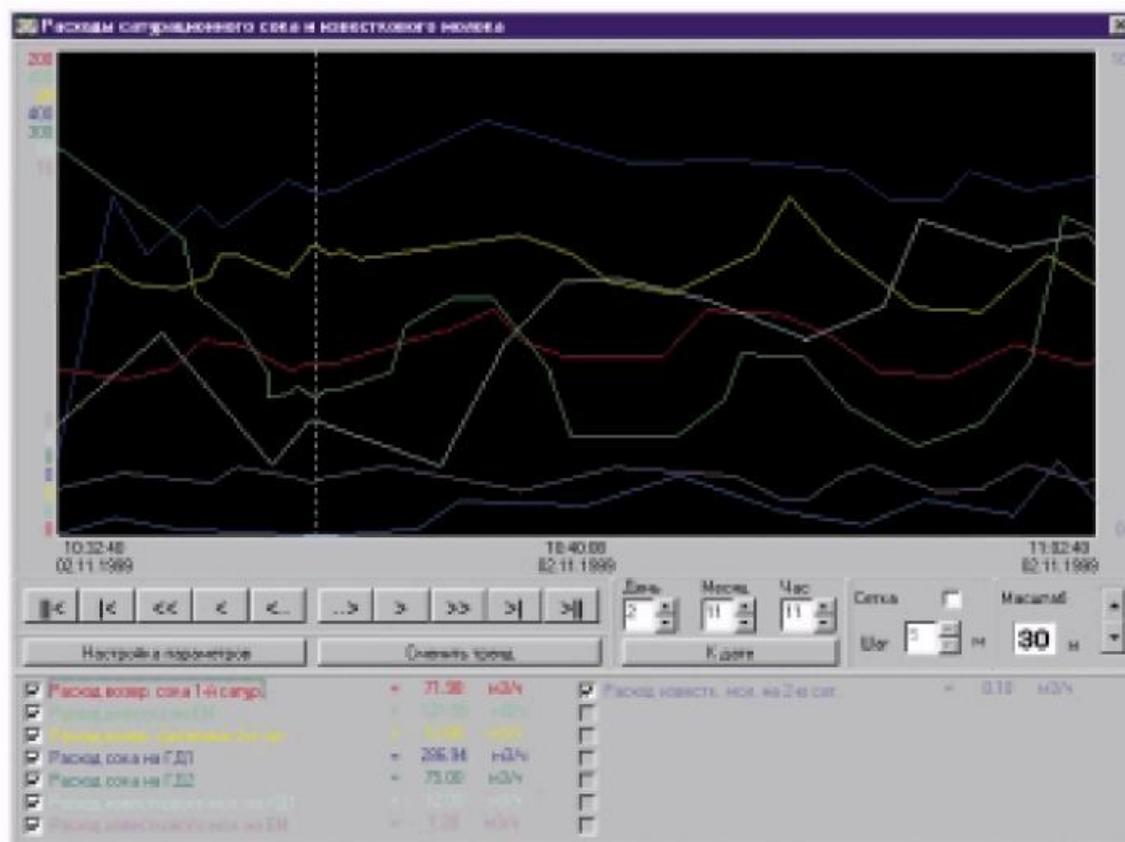


Рис. 6. Копия экрана с графиками расхода сырья и материалов

## 2.6. 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:

- А1 — блок питания 5101,
- А2 — каркас монтажный 5206-RM,
- А3 — микроконтроллер 6040 PC,
- А4 — плата цифрового интерфейса 5600-96,
- А5 — программируемые модули ввода-вывода UNIO48-5,
- А6, А7 — платы 8-канальных ПАП 5750-8,

- А8, А9 — аналоговые мультиплексоры MUX-16,
- А10 — клеммная плата для внешних устройств STB-26,
- А11, А12, А13 — клеммные платы для модулей развязки МРВ-24,
- А14 — изолированная плата интерфейсов PCL-745В,
- К1 - кабель СМА-20-24,
- К2,...К9 - кабели СМА-26-24.

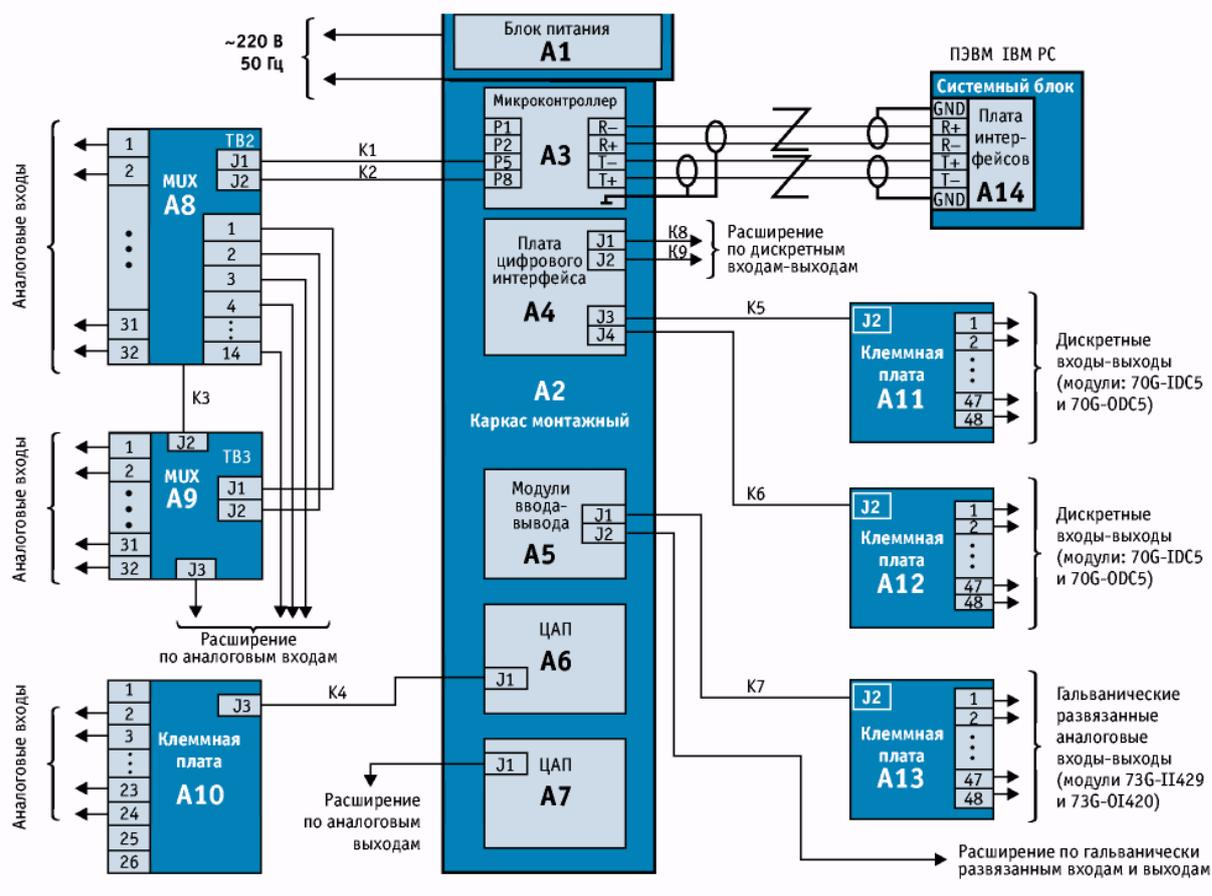


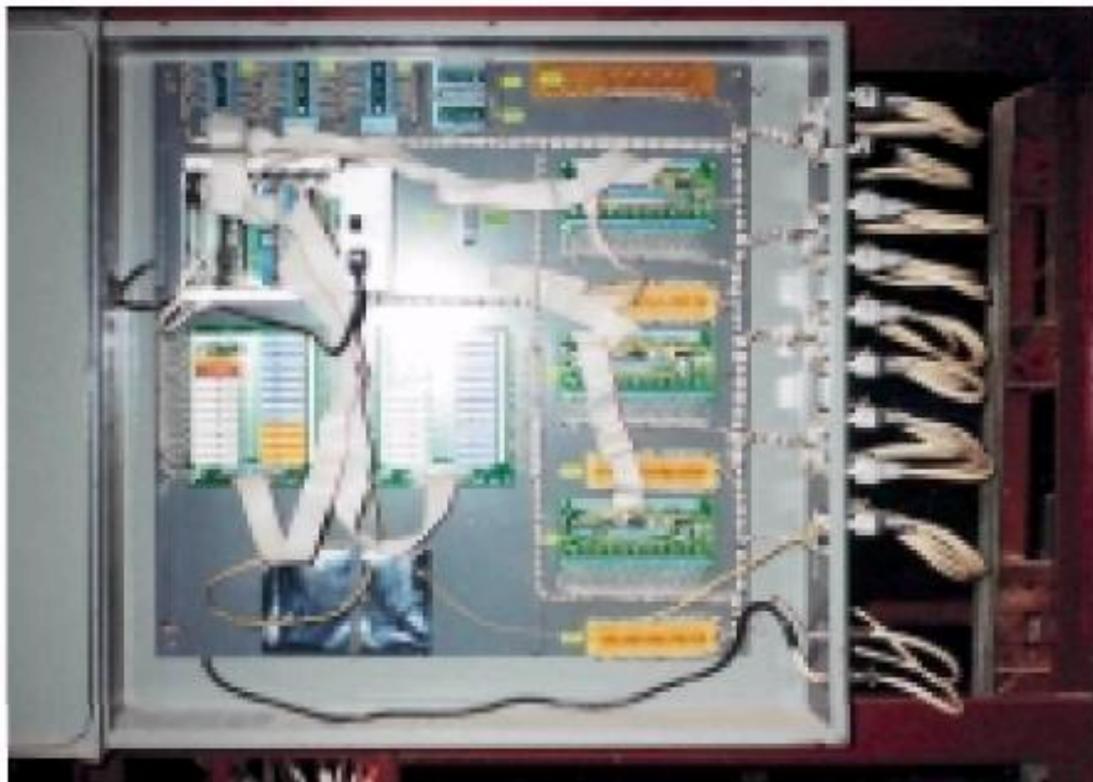
Рис. 7. Структурная схема контроллера

На рис. 8 показан общий вид щита контроллера.

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 свежесокленного сока.



### **2.7. Решение алгоритмических задач**

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 залегания извести на регулирующей арматуре и в подводящих трубопроводах.

Качество такого распределения значительно превосходит качество работы широко применяемых на сахарных заводах в настоящее время дозаторов и делителей известкового молока.

# РАЗДЕЛ 3. СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПИД - ЗАКОН РЕГУЛИРОВАНИЯ

## 3.1. Расчет ПИД регулятора

Определение оптимальных параметров настройки ПИД - регулятора производим по расширенным амплитудно-фазовым характеристикам.

Расширенной амплитудно-фазовой характеристикой звена или системы называют отношение вектора гармонических вынужденных затухающих колебаний на входе к вектору гармонических затухающих колебаний на входе.

Существуют два показателя степени затухания:

$\Psi$  - относительная степень затухания;

$m$  - логарифмический декремент затухания, которые связаны между собой следующим далее соотношением:

$$\varphi = 1 - e^{-2\pi m}, \quad (3.1)$$

Из предыдущей формулы (1.1) определяем значение логарифмического декремента затухания  $m$ :

$$m = \frac{-\ln(1 - \varphi)}{2\pi}, \quad (3.2)$$

Система автоматического управления будет обладать требуемой относительной степенью затухания, если расширенная амплитудно-фазовая характеристика разомкнутой система автоматического управления будет проходить через точку на комплексной плоскости  $(-1, j0)$ , т.е.

$$W_p(m, j\omega) * W_o(m, j\omega) = -1, \quad (3.3)$$

или

$$-W_p(m, j\omega) = 1 / W_o(m, j\omega), \quad (3.4)$$

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>					
					СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПИД - ЗАКОН РЕГУЛИРОВАНИЯ	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>	
									<b>ИАБ-2007</b>

Для получения расширенной амплитудно-фазовой характеристики необходимо в передаточную функцию подставить:

$$p = -m\omega + j\omega = \omega(j-m).$$

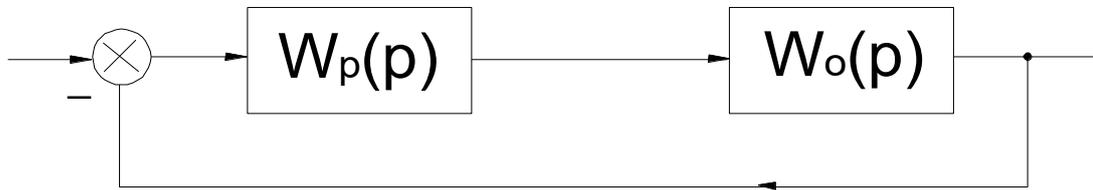


Рис. 3.1 Структура схемы непрерывной САУ

Передаточная функция нашего исходного объекта имеет следующий далее вид:

$$W_o(p) = \frac{T_5 p^2 + T_4 p + k_0}{T_3 p^3 + T_2 p^2 + T_1 p + 1}, \quad (3.5)$$

$$W_o(p) = \frac{0.86 p^2 + 6.9 p + 3.1}{60 p^3 + 47 p^2 + 12 p + 1}$$

$$\frac{1}{W_o(m, j\omega)} = W_o^*(m, j\omega) = Re^*(m, \omega) + jJm^*(m, \omega), \quad (3.6)$$

Формула (3.6) представляет собой инверсную расширенную амплитудно - фазовой характеристику объекта.

$$W_o^*(m, j\omega) = \frac{60\omega^3 (j-m)^3 + 47\omega^2 (j-m)^2 + 12\omega(j-m) + 1}{0.86\omega^2 (j-m)^2 + 6.9\omega(j-m) + 3.1}$$

Так как заданное значение  $\Psi = 0.96$ , то по формуле (3.2) определим значение  $m$  и подставим его в предыдущую формулу расширенной амплитудно-фазовой характеристики,  $m = 0.512$ .

$$W_o^*(m, j\omega) = \frac{60\omega^3 (j-0.512)^3 + 47\omega^2 (j-0.512)^2 + 12\omega(j-0.512) + 1}{0.86\omega^2 (j-0.512)^2 + 6.9\omega(j-0.512) + 3.1}$$

Перед тем, как определить оптимальные параметры настройки ПИД регулятора найдем частоту среза нашего объекта.

Частота среза – это такое значение частоты  $w = w_c$ , при котором значение амплитуды на выходе не превышало бы трех процентов от амплитуды при нулевой частоте.

Запишем выражение амплитудно - фазовой характеристики нашего объекта:

$$W_o(j, w) = \frac{0.86_s(jw)^2 + 6.9(jw) + 3.1}{60(jw)^3 + 47(jw)^2 + 12(jw) + 1}, \quad (3.7)$$

Амплитудно-фазовую характеристику объекта можно найти из следующей формулы:

$$|W_o(jw)| = \sqrt{Re^2(w) + Jm^2(w)}, \quad (3.8)$$

где  $Re(w)$  – вещественная часть амплитудно-фазовой характеристики;

$Jm(w)$  – мнимая часть амплитудно-фазовой характеристики.

$$|W_o(jw)| = \frac{\sqrt{0.739w^4 + 42.278w^2 + 9.61}}{\sqrt{3600w^6 + 769w^4 + 50w^2 + 1}}.$$

При нулевой частоте значение амплитуды равно 3.1 . Значит необходимо найти такое  $w = w_c$ , чтобы  $|W_o(jw)| = 0.03 * 3.1 = 0.093$ .

Таким образом необходимо рассчитать уравнение

$$\frac{\sqrt{0.739w^4 + 42.278w^2 + 9.61}}{\sqrt{3600w^6 + 769w^4 + 50w^2 + 1}} - 0.093 = 0, \quad (3.9)$$

Решением этого уравнения является то, что мы находим следующие параметры  $w = 0.417$ , следовательно и  $w_c = 0.417$ .

Для определения оптимальных параметров регулятора необходимо решить уравнение (3.6). Приравняв вещественные и мнимые части в уравнении (3.6), можно получить расчетные формулы для определения параметров ПИД регулятора:

$$C_0 = w(m^2 + 1)[Jm^*(m, w) + C_2 w],$$

$$C_2 = mJm^*(m, w) - Re^*(m, w) + 2mwC_2.$$

где  $C_0 = 1/T_u$ ;  $C_1 = K_p$ ;

$C_2 = T_g$ .

Для ПИД – регулятора имеем два уравнения с тремя неизвестными, тогда задаемся отношением:

$$\frac{T_g}{T_u} = \alpha(0 - 0.2),$$

В этом случае расчет формулы для ПИД – регулятора принимает следующий далее вид:

$$C_0 = 0.5[a \cdot Jm^*(m, w) + \sqrt{a^2 Jm^{*2}(m, w) + 4aw\alpha}];$$

$$C_1 = mJm^*(m, w) - Re^*(m, w) + \frac{2mw\alpha}{C_0},$$

где  $a = w(m^2 + 1)$ ;

$$Re^*(m, w) = \frac{82.277w^5 - 535.649w^4 + 356.977w^3 - 148.48w^2 + 30.3w}{1.179w^4 - 7.68w^3 + 56.189w^2 - 21.928w + 9.61};$$

$$Jm^*(m, w) = \frac{-42.11w^5 - 321.106w^4 + 44.29w^3 - 3.487w^2 - 22.65w + 3.1}{1.179w^4 - 7.68w^3 + 56.189w^2 - 21.928w + 9.61}.$$

Рассчитываем оптимальные параметры настройка для ПИД – регулятора:

$$\begin{cases} C_0 = 0.5(w(1.268)Jm^*(m, w) + \sqrt{w^2(1.268)^2 Jm^{*2}(m, w) + 0.4w(1.269)}) \\ C_1 = 0.512Jm^*(m, w) - Re^*(m, w) + \frac{0.2 * 0.512w}{C_0} \end{cases}, (3.10)$$

Для каждого значения частота от 0 до частоты среза находи точки  $C_1C_0$  и  $C_1$ , соответствующие требуемой степени колебательности  $m = 0.512$  решив систему (3.10). Данные расчетов представлены в таблице 1.1 по эти данным построим график зависимости  $C_1C_0 = f(C_1)$ .

Таблица 3.1

Данные для расчета оптимальных параметров настроек ПИД – регулятора.

w	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> C <sub>0</sub>
0	0	-0.323	0
0.1	0.12	0.097	0.012
0.2	0.2	0.485	0.097
0.3	0.226	0.913	0.207
0.4	0.184	1.447	0.266
0.417	0.172	1.556	0.268
0.5	0.113	2.206	0.25

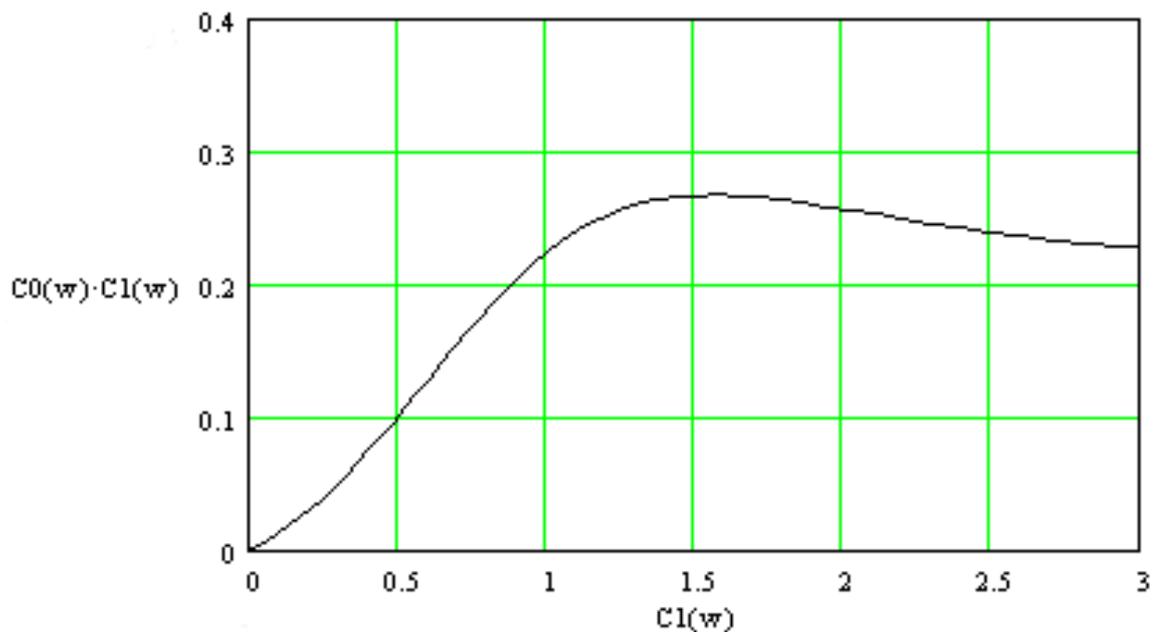


Рисунок 3.2. – График зависимости  $C_1C_0 = f(C_1)$

Нужно взять точку, лежащую справа от глобального максимума. Максимальное значение  $C_1C_0 = 0.268$ , при  $C_1 = 1.576$ . Берем точку  $C_1C_0 = 0.2592$  при  $C_1 = 1.9456$ . По этим значениям определим оптимальные параметры регулятора:

$$C_1 = Kp = 1.9456;$$

$$C_0 = \frac{1}{T_u} = 0.1332;$$

$$T_u = 7.506;$$

$$\frac{T_g}{T_u} = 0.13;$$

$$T_g = 0.976$$

Таким образом оптимальные параметры настройки для ПИД – регулятора:

$$T_u^{opt} = 7.506;$$

$$T_g^{opt} = 0.976;$$

$$Kp^{opt} = 1.9456.$$

Переходная функция для замкнутой системы с ПИД – регулятором будет иметь следующий вид:

$$h(t) = 1 - 0.2927e^{-0.404t} \cos(0.1157t) - 0.032e^{-0.404t} \sin(0.1157t) - 0.6934e^{-0.038t} \cos(0.1918t) - 0.2055e^{-0.038t} \sin(0.1918t).$$

Построим переходный процесс функции, изобразим график этого процесса на рисунке 3.3.

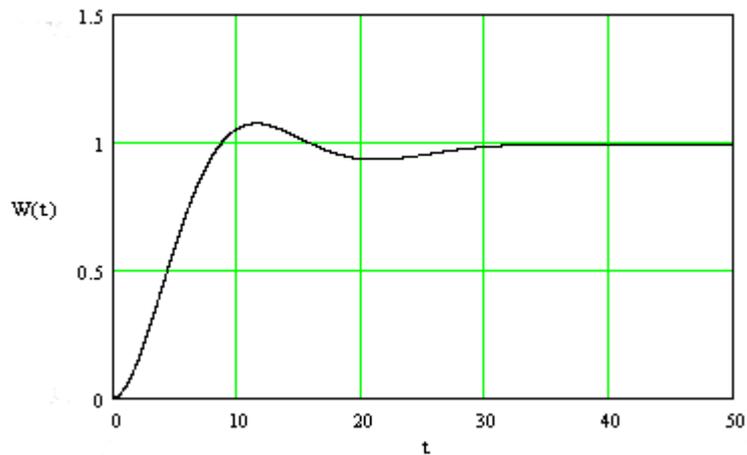


Рисунок 3.3. – Переходный процесс в замкнутой системе с ПИД – регулятором.

Необходимо выяснить соответствие коэффициентов неопределенного и цифрового регуляторов. Для выбора периода измерений цифрового регулятора строим амплитудно – частотную характеристику замкнутой системы и определяем частоту среза, при которой значение амплитуды на выходе не превышает три процента от амплитуды при нулевом значении частоты.

Для этого возьмем передаточные функции замкнутой системы ПИД регулятора, которые было найдено выше.

Передаточная функция замкнутой системы с ПИД – регулятором:

$$W_3(p) = \frac{0.839p^4 + 6.957p^3 + 4.928p^2 + 1.722p + 0.413}{60839p^4 + 53.9573p^3 + 16.92p^2 + 2.722p + 0.413}$$

Выражение амплитудно – частотной характеристики для системы с ПИД – регулятором будет иметь следующий вид:

$$|W_3(j\omega)| = \frac{\sqrt{(0.839\omega^4 - 4.928\omega^2 + 0.413)^2 + (-6.957\omega^3 + 1.722\omega)^2}}{\sqrt{(-60.839\omega^4 - 16.92\omega^2 + 4.130)^2 + (-53.957\omega^3 + 2.722\omega)^2}}$$

Так как частота среза равна трем процентам от нулевого значения, то необходимо решить уравнение следующего вида:

$$|W_3(j\omega)| - |W_3(0)| = 0.$$

При решении уравнений было получено:

-частота среза для системы имеющей в своем составе ПИД – регулятор  $\omega_c = 3.8194$ .

Частоту измерений принимают как:

$$T_0 = \frac{0.5 * 3.14}{\omega_c}$$

где  $\omega_c = 3.8194$  (наибольшее значение), при котором период квантования равен  $T_0 = 0.411$ .

Так как полученное значение меньше заданного, то произведем пересчет параметров.

В общем виде дискретную передаточную функцию искомого элемента можно записать следующим образом:

$$W_p(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2} + \dots + q_v z^{-v}}{p_0 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} + \dots + q_L z^{-L}}. \quad (3.11)$$

В нашем случае выражение (3.9) примет вид:

$$W_p(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}}, \quad (3.12)$$

где

$$q_0 = Kp + \frac{T_g}{T_0};$$

$$q_1 = -(Kp + 2\frac{T_g}{T_0});$$

$$q_2 = \frac{Kp}{T_0}.$$

неверно

С учетом этих выражений необходимо пересчитать параметры непрерывных регуляторов в параметры цифровых.

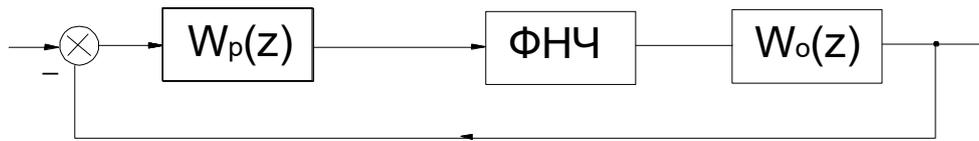
Запишем передаточные функции ПИД регулятора:

$$W_p(p) = 1.9456 + \frac{1}{7.506p} + 0.976p. \quad (3.13)$$

После вычисления коэффициентов  $q_0$ ,  $q_1$  и  $q_2$  дискретные передаточные функции будут иметь вид:

$$W_p(z) = \frac{4.32 - 6.64z^{-1} + 2.379z^{-2}}{1 - z^{-1}} \quad (3.14)$$

При анализе цифровых систем управления их представляют в виде трех элементов: цифрового фильтра (регулятора), фиксатора и приведенной



непрерывной части.

где  $y$  – дискретное значение регулируемой величины;

$f$  – заданное значение регулируемой величины;

$e$  – ошибка управления;

$u$  – управляющее воздействие.

Так как в системе имеет место фиксатор нулевого порядка с передаточной функцией вида:

$$K_\phi(p) = \frac{1}{p}(1 - e^{-pT}), \quad (3.15)$$

то с учетом того, что  $z = e^{-pT}$ , эту функцию можно записать в следующем далее виде:

$$K_\phi = \frac{z-1}{z \cdot p}. \quad (3.16)$$

Сомножитель  $1/p$  относят к линейной части, поэтому передаточная функция приведенной непрерывной части может быть записана в следующем виде:

$$W_{н.ч.}(p) = \frac{1}{p}W_0(p)(1 - e^{-pT}). \quad (3.17)$$

Так как

$$L^{-1} \left\{ \frac{W_0(p)}{p} \right\} = h(t),$$

переходная функция линейной части системы, то  $z$  – передаточную функцию линейной части находим по следующему выражению:

$$W_{н.ч.} = \frac{z-1}{z} \cdot z \{h(n)\}. \quad (3.18)$$

Найдем выражение для передаточной функции линейной части:

$$h(t) = \left\{ \frac{0.86p^2 + 6.9p + 3.1}{60p^3 + 47p^2 + 12p + 1} \cdot \frac{1}{p} \right\}. \quad (3.19)$$

Для вычисления  $h(t)$  воспользуемся методом неопределенных коэффициентов. Необходимо определить полюса. Для этого необходимо найти корни следующего уравнения:

$$(60p^3 + 47p^2 + 12p + 1) \cdot p = 0.$$

Решив данное уравнение мы получили, что его корни следующего вида:

$$p_1 = 0;$$

$$p_2 = -0,2;$$

$$p_3 = -0,33;$$

$$p_4 = -0,25.$$

Переходная функция линейной части имеет следующий вид:

$$h(t) = -21,93e^{-0.2t} - 4.03e^{-0.33t} + 22.86e^{-0.25t} + 3.1. \quad (3.20)$$

С учетом формулы (3.18) получаем

$$W_{н.ч.}(z) = \frac{z-1}{z} \cdot \left( \frac{3.1z}{z-1} - \frac{21.93z}{z-e^{-0.0822}} + \frac{22.86z}{z-e^{-0.102}} - \frac{4.03z}{z-e^{-0.1356}} \right).$$

После раскрытия скобок и приведения подобных мы получаем равенство в следующем виде:

$$W_{н.ч.}(z) = \frac{0.0247z^2 - 0.0284z + 0.0066}{z^3 - 2.776z^2 + 2.564z - 0.788}. \quad (3.21)$$

Результирующая передаточная функция разомкнутой системы может быть определена как произведение передаточной функции приведенной непрерывной части и передаточной функции цифрового фильтра:

$$W(z) = W_{н.ч.}(p) \cdot W_p(p). \quad (3.22)$$

Дискретная передаточная функция замкнутой системы:

$$W_3(z) = \frac{W(z)}{1 + W(z)}. \quad (3.23)$$

Определим значение  $W_3(z)$  :

$$W_p(z) = \frac{4.32 - 6.64z^{-1} + 2.379z^{-2}}{1 - z^{-1}},$$

$W_{н.ч.}(z)$  – определена по формуле (3.21), тогда:

$$W_3(z) = \frac{0.106z^4 - 0.287z^3 + 0.276z^2 - 0.112z + 0.015}{z^5 - 3.669z^4 + 5.053z^3 - 3.076z^2 + 0.676z + 0.015}. \quad (3.24)$$

После того, как получим выражение дискретных передаточных функций для всех систем, проанализируем устойчивость этих систем по критерию Джури.

Критерий устойчивости заключается в следующем.

Пусть задан  $A(z)$  – характеристический полином:

$$A(z) = a_0z^n + a_1z^{n-1} + \dots + a_n, \quad a_0 > 0.$$

Введем понятие обратного полинома, получаемого перестановкой коэффициентов исходного в обратном порядке:

$$A(z) = a_nz^n + a_{n-1}z^{n-1} + \dots + a_0.$$

Разделим  $A(z)$  на обратной ему. В итоге получаем частное от деления число  $q_0$  и остаток  $A_1(z)$  – полином  $n-1$  степени.

Помножим полученный результат на  $z^{-1}$  получаем:

$$A_1(z) = (a_0 - a_nq_0)z^{n-1} + \dots + (a_{n-1} - a_1q_0).$$

Затем делим остаток  $A_1(z)$  на обратный ему  $A_{10}(z)$  и определяем новое  $q_1$  и  $A_2(z)$

$$\frac{A_1(z)}{A_{10}(z)} = q_1 + \frac{A_2(z)}{A_{10}(z)} \text{ и т.д.}$$

Выполняя деление полиномов  $A_i(z)$  на обратные ему  $A_{i0}(z)$ , получаем последовательность чисел  $q_i = \{q_0, q_1, q_2, \dots, q_{n-2}\}$ .

Необходимым и достаточным условием устойчивости цифровой системы является неравенства:

$$A(1) = (a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_n) > 0;$$

$$(-1)^n A(-1) = (a_0(-1)^n + a_1(-1)^{n-1} + \dots + a_n) > 0;$$

$$|q_i| < 1, i=0, 1, 2, \dots, n-2.$$

Используя выше изложенное, определим устойчивость системы с ПИД - регулятором.

Характеристический полином имеет вид:

Степень полинома  $n=5$ . Множество  $q_i = \{q_0, q_1, q_2, q_3\}$ .

$$A(1) = 1 - 3,669 + 5,0537 - 3,0764 + 0,6764 + 0,01589 > 0.$$

$$(-1)^5 A(-1) = -(1 - 3,669 + 5,0537 - 3,0764 + 0,6764 + 0,01589) > 0.$$

$$A(z) = z^5 - 3,669z^4 + 5,0537z^3 - 3,0764z^2 + 0,6764z + 0,01589,$$

Обратный полином:

$$A_0(z) = 1 - 3,669z + 5,0537z^2 - 3,0764z^3 + 0,6764z^4 + 0,01589z^5.$$

Разделим  $A(z)$  на  $A_0(z)$ .

$z^5 - 3,669z^4 + 5,0537z^3 - 3,0764z^2 +$ $+ 0,6764z + 0,01589$	$1 - 3,669z + 5,0537z^2 - 3,0764z^3 +$ $+ 0,6764z^4 + 0,01589z^5$
$0,0002z^5 - 0,01z^4 + 0,0488z^3 - 0,0803z^2 +$ $+ 0,0583z + 0,01589$	$0,01589163 = q_0,  q_0  < 1$
$0,7347z - 3,1644z^2 + 5,102835z^3 - 3,6802818z^4 + 0,999747z^5$	

Помножим полученный результат на  $z^{-1}$ , тогда:

$$A_1(z) = 0,7347 - 3,1644z + 5,102835z^2 - 3,6802818z^3 + 0,999747z^4,$$

$$A_{10}(z) = 0,99974 - 3,6802818z + 5,1028z^2 - 3,1644z^3 + 0,7347z^4.$$

Разделим  $A_1(z)$  на  $A_{10}(z)$ .

$0,7347 - 3,1644z + 5,102835z^2 -$ $3,6802818z^3 + 0,999747z^4$	$0,7347 - 3,1644z + 5,102835z^2 -$ $3,6802818z^3 + 0,999747z^4$
$-(0,7347 - 2,704z + 3,750z^2 -$	$0,734938361 = q_1,  q_1  < 1$

$$2.3256z^3 + 0.53999z^4$$

$$\hline -0,4596z + 1,3255z^2 - 1,3545z^3 + 0,4597z^4$$

Помножим полученный результат на  $z^{-1}$ , тогда:

$$A_2(z) = -0,4596 + 1,3255z - 1,3545z^2 + 0,4597z^3,$$

$$A_{20}(z) = -0,4597 + 1,3545z - 1,3255z^2 + 0,4596z^3.$$

Разделим  $A_2(z)$  на  $A_{20}(z)$ .

$$-0,4596 + 1,3255z - 1,3545z^2 + 0,4597z^3$$

$$\hline -0,4596 - 1,3244z + 1,3525z^2 + 0,4595z^3$$

$$\hline -0,0288981z - 0,02926z^2 + 0,91927z^3$$

$$-0,4597 + 1,3545z - 1,3255z^2 + 0,4596z^3$$

$$\hline -0,99986442 = q_2, |q_2| < 1$$

Помножим полученный результат на  $z^{-1}$ , тогда:

$$A_3(z) = -0,0288981 - 0,02926z + 0,91927z^2,$$

$$A_{30}(z) = 0,91927 - 0,02926z - 0,02889881z^2.$$

Разделим  $A_3(z)$  на  $A_{30}(z)$ .

$$-0,0288981 - 0,02926z + 0,91927z^2$$

$$\hline 0,0288981 - 0,0009198z + 0,028898z^2$$

$$\hline -0,0305301z + 1,028762z^2$$

$$0,91927 - 0,02926z - 0,02889881z^2$$

$$\hline 0,0314359 = q_2, |q_2| < 1$$

Помножим полученный результат на  $z^{-1}$ , тогда:

$$A_4(z) = -0,0305301 + 1,028762z.$$

В результате расчетов получили, что  $q_0$ ,  $q_1$ ,  $q_2$  по модулю меньше единицы, таким образом все три неравенства выполняются. Следовательно цифровая система устойчива. После того, как определили устойчивость системы по критерию Джюри, необходимо построить переходный процессы в замкнутых цифровых системах.

Для построения переходных процессов в замкнутых цифровых системах воспользуемся обратным  $z$ -преобразованием.

Если функция имеет  $m$ -полюсов  $z_k = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ , то:

$$f[n] = \sum_{k=1}^m \frac{A(z_k)}{B'(z_k)} \cdot z_k^{n-1}, \quad (4.13)$$

где  $A(z_k)$  – числитель функции  $W_3(z)$ ;

$V'(z_k)$  – производная знаменателя функции  $W_3(z)$ ;

Замкнутая система с ПИД – регулятором.

Передаточная функция для цифровой замкнутой системы с ПИД - регулятором имеет вид:

$$W_3(z) = \frac{0.106z^4 - 0.287z^3 + 0.276z^2 - 0.112z + 0.015}{z^5 - 3.669z^4 + 5.053z^3 - 3.076z^2 + 0.676z + 0.015}.$$

Переходная функция замкнутой системы равна:

$$f[n] = Z^{-1} \left\{ \frac{0.106z^4 - 0.287z^3 + 0.276z^2 - 0.112z + 0.015}{z^5 - 3.669z^4 + 5.053z^3 - 3.076z^2 + 0.676z + 0.015} * \frac{z}{z-1} \right\}.$$

Для вычисления  $f[n]$  найдем полюса функции

$$\frac{0.106z^4 - 0.287z^3 + 0.276z^2 - 0.112z + 0.015}{z^5 - 3.669z^4 + 5.053z^3 - 3.076z^2 + 0.676z + 0.015} * \frac{z}{z-1}.$$

Полюса функции:

$$z_1 = 1;$$

$$z_2 = -0,021;$$

$$z_3 = 0,84;$$

$$z_4 = 0,935-j0,171;$$

$$z_5 = 0,935+j0,171;$$

$$z_6 = 0,98.$$

Производная знаменателя функции:

$$V'(z) = 6z^5 - 23.347 z^4 + 34.893 z^3 - 24.39 z^2 + 7.505z - 0.660$$

Подставим значение полюсов функции и значение производной в формулу (4.13), получим выражение для  $f[n]$ :

$$f(n) := \frac{0.1066 \cdot a^5 - 0.2871 \cdot a^4 + 0.27679 \cdot a^3 - 0.112 \cdot a^2 + 0.015 \cdot a}{-23.347 \cdot a^4 + 34.89 \cdot a^3 - 24.390 \cdot a^2 + 7.5057 \cdot a - 0.66 + 6 \cdot a^5} \cdot a^{n-1} +$$

$$\frac{0.1066 \cdot b^5 - 0.2871 \cdot b^4 + 0.27679 \cdot b^3 - 0.112 \cdot b^2 + 0.015 \cdot b}{-23.347 \cdot b^4 + 34.89 \cdot b^3 - 24.390 \cdot b^2 + 7.5057 \cdot b - 0.66 + 6 \cdot b^5} \cdot b^{n-1} +$$

$$\frac{0.1066 \cdot c^5 - 0.2871 \cdot c^4 + 0.27679 \cdot c^3 - 0.112 \cdot c^2 + 0.015 \cdot c}{-23.347 \cdot c^4 + 34.89 \cdot c^3 - 24.390 \cdot c^2 + 7.5057 \cdot c - 0.66 + 6 \cdot c^5} \cdot c^{n-1} +$$

$$\frac{0.1066 \cdot d^5 - 0.2871 \cdot d^4 + 0.27679 \cdot d^3 - 0.112 \cdot d^2 + 0.015 \cdot d}{-23.347 \cdot d^4 + 34.89 \cdot d^3 - 24.390 \cdot d^2 + 7.5057 \cdot d - 0.66 + 6 \cdot d^5} \cdot d^{n-1} +$$

$$\frac{0.1066 \cdot e^5 - 0.2871 \cdot e^4 + 0.27679 \cdot e^3 - 0.112 \cdot e^2 + 0.015 \cdot e}{-23.347 \cdot e^4 + 34.89 \cdot e^3 - 24.390 \cdot e^2 + 7.5057 \cdot e - 0.66 + 6 \cdot e^5} \cdot e^{n-1} +$$

$$\frac{0.1066 \cdot f^5 - 0.2871 \cdot f^4 + 0.27679 \cdot f^3 - 0.112 \cdot f^2 + 0.015 \cdot f}{-23.347 \cdot f^4 + 34.89 \cdot f^3 - 24.390 \cdot f^2 + 7.5057 \cdot f - 0.66 + 6 \cdot f^5} \cdot f^{n-1}$$

где  $a = z_1$ ;  $b = z_2$ ;  $c = z_3$ ;  $d = z_4$ ;  $e = z_5$ ;  $f = z_6$ .

Изобразим переходный процесс на рисунке 3.4.

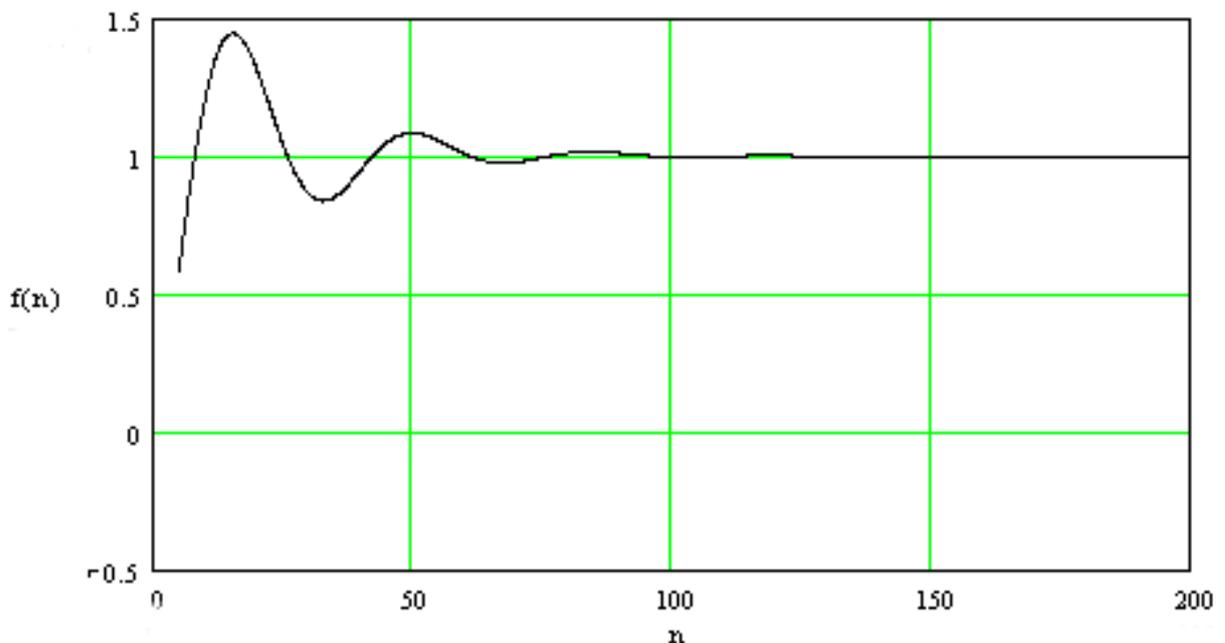


Рис. 3.4 - Переходный процесс в системе с ПИД – регулятором.

Таким образом, был сделан синтез и анализ оптимальной одноконтурной САУ при использовании ПИД - закон регулирования. Доказан что из типов регуляторов ПИД - закон регулирования является наилучшим для систем компьютерной автоматизации свеклосахарных производств. Кроме того, были проведены расчеты по использованию ПИД

регулятора в цифровых системах. Как показали расчеты, несмотря на то, что цифровые системы – это системы дискретного действия и действуют через определенные промежутки времени, переходные процессы в цифровых системах не сильно отличаются от переходных процессов в непрерывных системах, а конечное состояние выходной величины одинаково. Кроме того развитие микропроцессорной техники и использование теории управления в цифровых системах позволяют создать регуляторы различной сложности и с заранее заданными свойствами. Один из регуляторов, обеспечивающий перевод системы из одного состояния в другое за минимальное число периодов квантования при наличии ограничения на управляющие воздействия, был синтезирован в данной разделе.

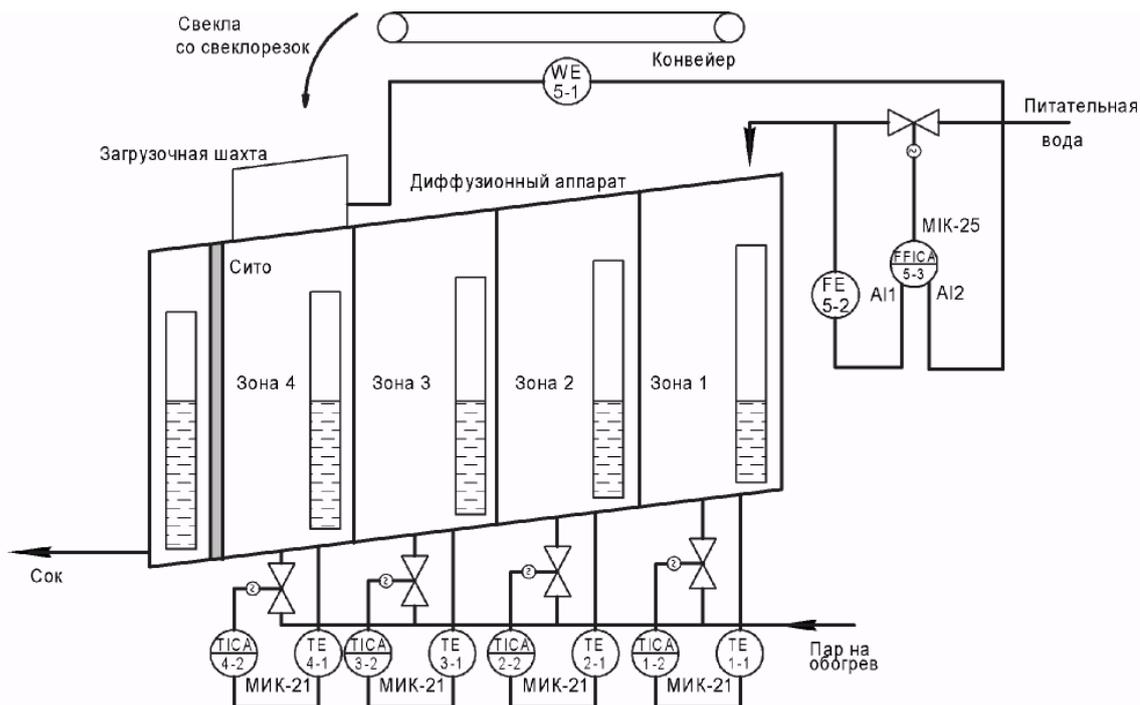
### **3.2. Использование микропроцессорных регуляторов МИК-21, МИК-25 в АСУТП диффузионного отделения (наклонная диффузионная установка)**

В данной главе рассматриваются технические средства, предназначенные для контроля и регулирования параметров технологического процесса в диффузионной установке сахарного производства.

Диффузионная установка предназначена для извлечения сахара из свекловичной стружки методом противоточной диффузии.

При введении в эксплуатацию системы автоматизации диффузионной установки экономический эффект достигается: за счет повышения производительности диффузионной установки, а также за счет увеличения содержания сахара в диффузионном соке.

Структурная схема системы автоматизации диффузионной установки представлена на рис.3.5.



В основу реализации процесса экстракции в диффузионном аппарате непрерывного действия положен принцип противотока стружки и воды при необходимости соблюдения разницы концентраций. Взвешенная на порционных весах свекла через промежуточный бункер поступает на свеклорезки, где изрезывается в стружку. Ленточным конвейером, оборудованным конвейерными весами, свекловичная стружка подается в загрузочную шахту наклонного диффузионного аппарата, а в верхнюю часть диффузионного аппарата подается подогретая сульфитированная вода.

Откачку диффузионного сока необходимо производить в количестве 110-115 % к весу свеклы, то есть, необходима регулировка соотношения стружка-вода. Реализуется этот контур на базе регулятора МИК-25. Аналоговые входа регулятора - AI2 - расход свекловичной стружки, AI - расход воды, аналоговый выход - на управление клапаном подачи воды. Коэффициент соотношения задается оператором вручную.

### **3.2.1. Уровень сокоотружечной смеси в аппарате.**

Для обеспечения правильного хода процесса экстракции очень существенным фактором является удерживание равномерного уровня заполнения диффузора, для этого контролируются уровни сокоотружечной смеси в аппарате и регулируется уровень перед ситом. Поддерживается заданный уровень с помощью регулятора МИК-21.

### **3.2.2. Измерение и регулирование температуры в камерах.**

Температурный режим аппарата обеспечивается подогревом аппарата по его длине греющим паром, подающимся в греющие камеры. Поддержание заданных температур в зонах диффузионного аппарата осуществляется регуляторами МИК-21 (1-2, 2-2, 3-2, 4-2). В качестве датчиков измерения температуры в зонах аппарата используются ТСМ или ТСП, которые подключаются на универсальные входы регуляторов МИК-21.

## РАЗДЕЛ 4. ОХРАНА ТРУДА

В разделе «Охрана труда» выпускной квалификационной работы рассматриваются вопросы обеспечения безопасности труда. В этой части рассматриваются проблемы, возникающие при проектировании и выборе варианта автоматизации линии по производству сахара из сахарной свеклы. Большая часть технологических процессов, осуществляемых при помощи этой линии, представляет опасность для человека. Известно, что значительные отклонения от заданных технологических параметров - температуры, давления, уровня - могут привести к крупным авариям. Автоматический контроль предельных значений технологических параметров, сигнализация, защита, управление различными процессами и их регулирование обеспечивают надежную и безопасную эксплуатацию установок, дают возможность предупредить или исключить возникновение аварийных ситуаций.

Для обеспечения безопасности труда, основными нормативными документами, являются Правила техники безопасности и Правила технической эксплуатации технологического оборудования на предприятиях пищевого производства.

### 4.2. Анализ опасных и вредных производственных факторов

При эксплуатации линии по производству сахара из сахарной свеклы существует ряд опасных и вредных производственных факторов. Одним из таких факторов является шум. Человек постоянно подвергается воздействию шума. Источником шума являются электродвигатели, транспортеры, варильник и сушилка. Повышенный уровень шума на рабочих местах оказывает вредное воздействие на организм человека. В результате длительного воздействия шума нарушается нормальная деятельность сердечно-сосудистой и нервной системы, пищеварительных и кроветворных органов,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
					ОХРАНА ТРУДА	Лит.	Лист	Листов
					ИАБ-2007			

развивается профессиональная тугоухость, прогрессирование которой может привести к полной потере слуха. Под влиянием интенсивного шума и вибрации наступают повышенная утомляемость и раздражительность, плохой сон, головная боль, ослабление памяти, внимания и остроты зрения, что ведет к снижению производительности труда и часто является причиной травматизма.

Немалую роль в обеспечении безопасных условий труда играют метеорологические условия производственной среды. Метеорологические условия производственной среды - температура, влажность и скорость движения воздуха, определяют теплообмен организма человека и оказывают существенное влияние на функциональное состояние различных систем организма, самочувствие, работоспособность и здоровье. Кроме того нарушение теплообмена (охлаждение или перегрев) усугубляет действие на человека вредных веществ, вибрации и других производственных факторов. Метеорологические условия производственной среды цеха, в котором установлена линия по производству сахара из сахарной свеклы зависят от физического состояния воздушной среды и характеризуются основными метеорологическими элементами, а также тепловым излучением нагретых поверхностей оборудования. Совокупность этих факторов, характерных для данного производственного участка, называется производственным микроклиматом. Метеорологические факторы, как каждый в отдельности, так и в различных сочетаниях, оказывают огромное влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье. Для производственного цеха с линией по производству сахара из сахарной свеклы характерное суммарное действие метеорологических факторов. А именно, увеличение скорости движения воздуха ослабляет неблагоприятное действие высокой температуры и усиливает действие низкой; повышение влажности воздуха усугубляет действие как высокой, так и низкой температуры.

Рациональное освещение помещения и рабочих мест - один из важнейших элементов благоприятных условий труда. При правильном освещении

повышается производительность труда, улучшаются условия безопасности, снижается утомляемость. При недостаточном освещении рабочий плохо видит окружающие предметы и плохо ориентируется в производственной обстановке. Успешное выполнение рабочих операций требует от него дополнительных усилий и большого зрительного напряжения. Неправильное и недостаточное освещение может привести к созданию опасных ситуаций. Наилучшие условия для полного зрительного восприятия создает солнечный свет.

Основная опасность при эксплуатации герметичных емкостей, работающих под давлением заключается в возможности их разрушения при внезапном расширении паров (физический взрыв). При физическом взрыве энергия сжатой среды в течении малого промежутка времени реализуется в кинетическую энергию осколков разрушенной емкости и ударную волну. Сеть трубопроводов является источником повышенной опасности; так как вследствие тяжелых условий эксплуатации происходит разрушение материала труб и разгерметизация фланцевых соединений, а из-за большой протяженности и разветвленности сети контроль за ее состоянием затруднен.

При работе в производственном цехе существует опасность поражения электрическим током. Действие электрического тока на живую ткань носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм, электрический ток производит термическое, электролитическое и биологическое действия. Любое из этих действий тока может привести к электрической травме, т.е. к повреждению организма, вызванному воздействием электрического тока.



Экономия от сокращения времени варки утфеля определяется по формуле и исходным данным:  $33 = 4500$  долларов США.

Суммарный экономический эффект составит:

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

### **Вакуум-аппараты**

Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле:

$$3 = (Q_1/Q_0)((N-V+1)/(N+1)) \cdot Q_m C_1 (M/n)(t/T) + (m/n) C_2 P,$$

где:

$\mathcal{E}$  — 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),  $m$  — 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.

Срок окупаемости капитальных вложений заказчика  $C_0$  вычисляется по формуле:  $C_0 = \mathcal{C}/\mathcal{E}$ ,

где  $\mathcal{C}$  — 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 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.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Дудников Е.Г. Автоматическое управление в химической промышленности. - М.: Химия, 1987.- 368 с.
2. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. - М.: Химия, 1982.- 295 с.
3. Автоматизация технологических процессов легкой промышленности: Учеб пособие для вузов по спец. «Автоматизация технологических процессов и производств» / Под ред. Л.Н. Плужникова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Легпромбытиздат, 1984.- 366с.
4. Мамиконов А.Г. Проектирование АСУ.- М.: Высшая школа, 1987.- 303 с.
5. Стефани Е.П. Основы построения АСУ ТП.- М.: Энергоиздат, 1982.- 352с.
6. Пиггот С.Г. Интегрированные АСУ химических производств. - М.: Химия, 1985.- 410 с.
7. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные системы в химической промышленности: Учебник для вузов. - М.: Химия, 1990.- 320с.
8. Плюitto В.П. Управление химико-технологическими процессами. Процессы массообмена: [Учеб. пособие].- М.: МХТИ, 1984.-48с.
9. Плюitto В.П. и др. Автоматизированные системы управления периодическими процессами химической технологии. – М.: МХТИ, 1985.- 48с.
10. Ицкович Э.Л., Сорокин Л.Р. Оперативное управление непрерывным производством. – М.: Наука, 1989.-155с.
12. Уланов Г.М. и др. Методы разработки интегрированных АСУ промышленными предприятиями. - М.: Энергоатомиздат, 1983.- 320 с.
15. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. - М.: Химия, 1985.-352с.
16. Шувалов В.В. Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
					<b>ЛИТЕРАТУРА</b>		
					Лит.	Лист	Листов
					ИАБ-2007		

производственных процессов в химической промышленности. - М.: Химия, 1991.-480с.

17. Процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов./ Н.Н. Смирнов, М.И. Курочкина, А.И. Волжинский, В.А. Плессовских. - СПб.: Химия, 1996.-400с.

18. Математическое моделирование основных процессов химических производств. Учеб. пособие для вузов. / В.В. Кафаров, М.Б. Глебов. - М.:Высш.шк., 1991.-399с.

19. Буренин В.И., Адигезалов И.И., Васильев Ю.В. Индустриальная технология переработки сахарной свеклы. М., 1983

## РЕЦЕНЗИЯ

на выпускной квалификационную работу «Разработка системы автоматического регулирования процесса дезодорации хлопкового масла» по направлению «Автоматизация и управления» студента Шукурова Фархода.

Выпускная квалификационная работа студента Шукурова Фархода представленный на рецензирование включает в себя пояснительную записку на \_\_\_\_ листах и графический материал на 4 листах.

Целью выпускной квалификационной работы является автоматизация процесса процесса дезодорации хлопкового масла.

В введении раскрыта актуальность выбранной темы выпускной работы, дано описание выбранного оборудования.

В разделе 1. даны обоснование технологической схемы.

Раздел 2. посвящены синтезу и анализу оптимальной системы автоматизированного управление при использовании ПИ - закон регулирования и решены следующие задачи:

- идентификация объекта регулирования;
- расчет ПИ регулятора;
- выбор по использованию регулятора в АСУТП процесса дезодорации хлопкового масла;
- разработка функциональной схемы автоматизации процесса дезодорации хлопкового масла.
- разработка принципиальное электрической и пневматической схемы автоматического регулирования;

Далее студент обосновал основные аспекты охраны труда и окружающей среды и выполнил технико-экономический расчет.

В целом выпускная квалификационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к такого вида работам. При успешной защите может быть оценена на «хорошо», а её автор заслуживает присвоения академического степени бакалавра.

Рецензент:

д.т.н., проф. Г.Н. Махмудов

## ОТЗЫВ

на выпускной квалификационную работу «Изучения процесса переработки сахарной свеклы и оптимальное управления процессам переработки» по направлению «Автоматизация и управления» студента Шагазатова Отабека Убайдуллаевича.

Выпускная квалификационная работа студента Шагазатова Отабека Убайдуллаевича представленный на рецензирование включает в себя пояснительную записку на 57 листах и графический материал на 4 листах.

Целью выпускной квалификационной работы является автоматизация процесса переработки сахарной свеклы.

В введении раскрыта актуальность выбранной темы проектирования, дано описание выбранного оборудования.

В разделе 1. даны обоснование технологической схемы.

Раздел 2. посвящены компьютерная автоматизация свеклосахарных производств.

Раздел 3. посвящены синтезу и анализу оптимальной системы автоматизированного управление при использовании ПИД - закон регулирования.

Разделы 4 и 5. посвящены охране труда предприятие и технико-экономического обоснование эффективности внедрения систем автоматизации.

В ходе работы над выпускной квалификационной работы студент О.У. Шагазатов умело использовал полученные теоретические знания, грамотно работал с технической литературой, что позволило ему выполнить расчет систем автоматического регулирования, определить оптимальные параметры настройки регуляторов и разработать принципиальные систем автоматизации.

В процессе работы над выпускной квалификационной работы студент О.У. Ильясов показал способность к самостоятельной работе, умело пользовался справочной и технической литературой.

Разработанный проект можно рекомендовать для практической реализации. Считаю, что выпускная квалификационная работа заслуживает отличной оценки, а студент О.У. Шагазатов присвоения академической степени бакалавра.

Руководитель выпускной  
квалификационной работы

Б.Т. Хамидов

## РЕФЕРАТ

В выпускной квалификационной работе «Изучения процесса переработки сахарной свеклы и оптимальное управления процессам переработки» содержится пояснительная записка состоящая из 57 листов, 13 рисунков и 1 таблица.

При работе над выпускной квалификационной работе использовано 19 литературных источников.

Ключевые слова: технологическая линия, технологический процесс, автоматическое управление, приборы контроля, регуляторы, системы автоматического контроля (САК), системы автоматического регулирования (САР), системы автоматического управления (САУ), функциональная схема САР, принципиальная схема САР и У.

Предлагаемые алгоритмы управления, функциональные схемы САР и их элементы, а также выполненные расчеты параметров настройки регуляторов позволяют сделать выводы о возможности использования разработок в реальных условиях эксплуатации промышленных установок.



**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ  
КАФЕДРА «ИНФОРМАТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЯ»**

## **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

на тему: **ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ  
САХАРНОЙ СВЕКЛЫ И ОПТИМАЛЬНОЕ  
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМ ПЕРЕРАБОТКИ**

Заведующей кафедрой

проф. Артиков А.А.

Руководитель работы

Хамидов Б.Т.

Выполнил

Илясов О.У.

**Ташкент - 2007**