

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	5
Введение	7
<i>Глава 1. ПОНЯТИЕ КАЧЕСТВА И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА. ОЦЕНКА УРОВНЯ КАЧЕСТВА</i>	<i>11</i>
1.1. Качество продукции, общие понятия. Значение повышения качества для процветания предприятия в условиях рыночной экономики.....	11
1.2. Уровень качества продукции. Показатели качества листового стекла и их оценка	17
1.3. Качество продукции как объект управления, факторы, влияющие на качество. Совершенствование технологических процессов производства листового стекла.....	28
1.4. Основные физико-механические характеристики листового стекла и их зависимость от химического состава и режима варки-выработки	46
<i>Глава 2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА.....</i>	<i>55</i>
2.1. Основные принципы построения современных систем управления качеством продукции	55
2.2. Международные стандарты на системы менеджмента качества серии ИСО 9000	61
2.3. Система менеджмента качества производственного объединения «Полированное стекло».ОАО «Борский стекольный завод»	70
2.4. Применение IDEF0-методологии для описания процессов системы менеджмента качества производственного объединения «Полированное стекло»	82

<i>Глава 3. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА</i>	97
3.1. Статистические методы анализа и управления качеством продукции.....	97
3.2. Контроль качества материалов, сырья и продукции.....	101
3.3. Статистический анализ точности и стабильности технологических процессов	113
3.4. Статистические методы регулирования технологических процессов	121
<i>Глава 4. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА</i>	131
4.1. Особенности управления производством полированного стекла	131
4.2. Описание показателей качества листового стекла регрессионными уравнениями	134
4.2.1. Зависимость характеристик вырабатываемого стекла от режима варки-выработки.....	136
4.2.2. Отклонения параметров ленты стекла в процессе варки-выработки	145
4.2.3. Зависимость содержания пороков в листовом стекле от режима варки-выработки.....	147
4.3. Статистический анализ процесса производства листового стекла.....	151
4.4. Дальнейшее улучшение качества стекла	162
4.5. Статистические методы в организационном управлении качеством стекла	177
Заключение	188
Список источников	189

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга написана на базе научных исследований, проведенных Владимирским государственным университетом в течение ряда лет на стекольных заводах по автоматизации и управлению качеством листового стекла. Особое значение имеют работы, выполненные в течение последних полутора десятка лет в ОАО «Борский стекольный завод», которые составили основу книги.

В книге рассматриваются методические и практические аспекты управления качеством продукции на примере производства листового стекла флоат-способом.

Книга состоит из предисловия и четырех глав.

В первой главе приводятся общие понятия качества продукции, значение повышения качества для процветания предприятия в условиях рыночной экономики. Рассматриваются показатели качества листового стекла и методы их оценки, описывается решение вопросов стандартизации и сертификации продукции в ОАО «Борский стекольный завод». Предлагается подход к качеству продукции как к объекту управления на всех стадиях жизненного цикла продукции. Подробно рассматривается стадия производства флоат-стекла и анализируются факторы, влияющие на качество продукции: совершенствование технологического оборудования, использования передовых технологий процесса производства, автоматизация технологических процессов.

Вторая глава посвящена вопросам стандартизации в управлении качеством продукции. Описываются принципы построения современных систем управления качеством, соответствующие требованиям стандартов ИСО серии 9000, общефирменные системы и соответствующие национальным премиям по качеству. Рассматривается семейство международных стандартов на системы менеджмента качества серии ИСО 9000:2000, обсуждаются подходы к разработке и внедрению СМК. Приводится подробное описание СМК ПО «Полированное стекло» ОАО «Борский стекольный завод» и ее процессная модель «как есть».

Статистические методы контроля и регулирования качества листового стекла описываются в третьей главе монографии. Рассматриваются особенности применения статистических методов при контроле качества материалов, сырья и продукции. Точность и стабильность технологических процессов производства флоат-стекла оценивается с использованием контрольных карт. Описывается регулирование технологических процессов на основе данных контроля качества стекла по количественному и альтернативному признакам. Рассматриваются возможности использования контрольных карт, ленточных диаграмм, диаграмм рассеивания, диаграммы Парето и причинно-следственных диаграмм при анализе и контроле качества, и статистическом регулировании технологического процесса производства листового стекла.

В четвертой главе рассмотрен широкий круг вопросов, связанный с управлением качеством листового стекла. Для выработки управляющих воздействий установлены связи между основными показателями качества стекла, имеющими случайный характер, и контролируемыми факторами в процессе производства. Эти зависимости описаны линейными регрессионными уравнениями в ограниченной области варьирования факторов.

В главе описывается методика использования программного комплекса “Технолог стекольного производства” при статистическом анализе производства. Указывается перспективность применения математического моделирования для совершенствования управления технологическим процессом производства листового стекла.

Рассматривается методика использования вычислительного эксперимента и имитационного моделирования для оценки эффективности управления производством и выработки предложений по дальнейшему улучшению качества вырабатываемого стекла.

Рассматривается применение статистических методов в организационном управлении качеством стекла, как-то при анализе данных опросных листов, жалоб и рекламаций клиентов для выработки управляющих действий, оценке эффективности выполненных действий (организационных мероприятий) по совершенствованию системы управления качеством, оценке результатов корректирующих действий с технологическим оборудованием и т. п.

Книга снабжена большим количеством примеров из опыта создания системы управления качеством в производственном объединении «Полированное стекло» в ОАО «Борский стекольный завод».

Авторы выражают благодарность рецензенту А.В. Кострову за ценные замечания, которые способствовали улучшению содержания книги.

ВВЕДЕНИЕ

Листовое стекло представляет важнейший вид продукции, вырабатываемой стекольной промышленностью. Наибольшую часть листового стекла используют в промышленности, гражданском, жилищном и сельскохозяйственном строительстве. Крупными потребителями являются автомобилестроение, вагоностроение, железнодорожный транспорт. Различные требования к изделиям из стекла, а также разнообразные свойства его как материала обусловили разработку многочисленных технологических процессов, способов и оборудования, позволяющих получить широкий ассортимент изделий. Тенденция развития производства листового стекла в мире такова, что флоат-процесс как новейший и наиболее прогрессивный вытесняет остальные способы выработки стекла.

Переход России к рыночной экономике, конкурентная среда в условиях рынка обязывают руководителей стекольных производств уделять большое внимание проблемам качества. Серьезная конкурентная борьба обусловила в странах с развитой рыночной экономикой разработку программ повышения качества [1]. Возникла необходимость выработки объективных показателей для оценки способности фирмы производить продукцию с необходимыми качественными характеристиками. Эти характеристики подтверждаются сертификатом соответствия на продукцию. Многие фирмы – производители стекла имеют системы качества, на различных предприятиях они индивидуальны [2]. Тем не менее, мировая наука и практика сформировали общие признаки построения таких систем, которые изложены в стандартах ISO серии 9000 и в отечественном аналоге – ГОСТ Р ИСО 9001 : 2001 «Системы менеджмента качества. Требования».

В настоящее время сертификат, подтверждающий соответствие продукции международным стандартам на систему качества, служит решающим фактором для заключения контракта на поставку продукции. Успешная реализация качественного продукта потребителю является главным источником существования любого предприятия.

История многих зарубежных и отечественных компаний стекольных производств – яркое подтверждение этому. Так, Европейская группа компаний «Главербель» и крупнейший отечественный производитель высококачественного стекла ОАО «Борский стекольный завод» наглядно демонстрируют эту зависимость [3].

Вопросам управления качеством посвящены исследования ученых разных стран, накоплен значительный опыт в области менеджмента качества. Однако отсутствуют работы, посвященные особенностям менеджмента качества листового стекла на отечественных стекольных заводах. Данная монография нацелена на восполнение этого пробела.

В области качества произошла подлинная революция. Именно с помощью современных методов менеджмента качества, использования новых информационных технологий многие зарубежные фирмы добились лидирующих позиций на рынках.

Между качеством и эффективностью производства существует прямая зависимость [1]. Повышение качества способствует повышению эффективности производства, снижению затрат и увеличению доли рынка. В рыночной экономике производитель и потребитель сами находят себя на рынке, мотивация их деятельности основывается на финансовом выигрыше и максимизации потребительского эффекта. При этом потребитель имеет выбор между наилучшими товарами различных производителей. Потребитель, являясь главной фигурой, определяет направления развития производства, приобретая товары и услуги в соответствии с собственным желанием. За понятием качества всегда стоит потребитель, он выбирает наиболее предпочтительные свойства товара.

Большинство российских стекольных заводов пока еще отстают в области применения современных методов управления качеством. Между тем повышение качества поистине имеет колоссальный потенциал. Однако повысить качество невозможно без изменения отношения к качеству руководителей на всех уровнях управления, пока они не станут относиться к качеству как к образу жизни. Для создания системы менеджмента качества требуется стратегическое решение организации.

ГОСТ [5] рекомендует использовать модель системы менеджмента качества (СМК), основанную на процессном подходе. При этом организация должна определить ответственность руководства и обеспечить СМК требуемыми ресурсами: человеческими, инфраструктурой и производственной средой.

Процессы жизненного цикла продукции включают: планирование процессов жизненного цикла, процессы, связанные с потребителями, проектирование и разработку, процесс закупок, процессы производства и обслуживания, управление устройствами для мониторинга измерений.

В книге рассматриваются более подробно организация процессов управления производством листового стекла флоат-способом. Приводятся примеры использования статистических методов анализа для мониторинга технологического процесса и контроля качества вырабатываемой ленты стекла. Рассматриваются алгоритмы статистического регулирования технологическим процессом для обеспечения требуемого качества вырабатываемого стекла. Описываются результаты функционального моделирования СМК ПО «Полированное стекло» ОАО «Борский стекольный завод». Модель отражает спецификацию всех операций и действий (процессов менеджмента), осуществляемых в СМК, а также характер взаимосвязей между ними. Посредством анализа возможных путей улучшения СМК можно переходить от существующей ситуации, отображаемой моделью КАК ЕСТЬ, к желаемой, которая будет описываться моделью КАК БУДЕТ. Для моделирования системы менеджмента качества в ПО «Полированное стекло» выбрана IDEF0 – методология [6].

Модель IDEF0 является иерархически организованной совокупностью диаграмм. Разработка диаграмм проводилась с использованием CASE – средств автоматизации проектирования и моделирования информационных систем – программы VPwin.

ГЛАВА 1

ПОНЯТИЕ КАЧЕСТВА И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА. ОЦЕНКА УРОВНЯ КАЧЕСТВА

1. 1. Качество продукции, общие понятия.

Значение повышения качества для процветания предприятия в условиях рыночной экономики

Решение проблемы качества является важнейшим фактором повышения уровня жизни, экономической, социальной и экологической безопасности. Качество – комплексное понятие, характеризующее эффективность всех сторон деятельности: разработка стратегии, организация производства, маркетинг и др. Важнейшей составляющей всей системы качества является обеспечение качества продукции. Под продукцией понимается результат деятельности или процессов [7]. Продукция может включать услуги, она может быть материальной (например, листовое стекло) или нематериальной (например, информация или понятия). Продукция может быть намеренной (например, предложение потребителям) или ненамеренной (например, нежелательные экологические последствия).

В литературе и практике существуют различные трактовки понятия качества. Международная организация по стандартизации определяет качество как совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворить установленные и предполагаемые потребности. Здесь под объектом понимается то, что может быть индивидуально описано и рассмотрено: деятельность или процесс, продукция, организации или отдельное лицо [7]. Во многих случаях потребности могут меняться со временем. Это предполагает проведение периодического анализа требований к качеству. Обычно потребности переносятся в характеристики продукции на основе установленных критериев. Потребности могут включать

такие аспекты, как эксплуатационные характеристики, функциональная пригодность, надежность, безопасность использования, безопасность для окружающей среды, экономические и эстетические требования и др.

Потребительские свойства продукции характеризуют совокупность показателей, которые относятся к числу наиболее важных и значимых для потребителя. Это реальное качество продукции.

Продукт труда, созданный в процессе производства, до реализации потребителю обладает только потенциальным качеством, которое переходит в реальное качество, лишь вступив в процесс реализации и потребления, то есть, когда данный продукт начинает участвовать в удовлетворении конкретных общественных потребностей [4].

Понятие качества формировалось под воздействием исторических и производственных обстоятельств. Каждое общественное производство определяло свои требования к качеству продукции. На начальных этапах крупного промышленного производства проверка качества предполагала определение соответствия геометрических параметров и прочности изделия. Повышение сложности изделий привело к увеличению числа оцениваемых свойств: проводилась комплексная проверка функциональных свойств изделия. В условиях массового производства качество стало рассматриваться с позиции стандарта качества всех производимых в массовом производстве изделий.

С развитием научно-технического прогресса, с комплексной автоматизацией производства возникло понятие надежности. Таким образом, понятие качества постоянно развивалось и уточнялось. В связи с необходимостью контроля качества были разработаны методы сбора, обработки и анализа информации о качестве. Фирмы, функционирующие в условиях рыночной экономики, стремились организовать наблюдение за качеством в процессе производства и потребления. Упор был сделан на предупреждение дефектов.

Качество, как его понимает производитель, и качество, как его понимает потребитель, – понятия взаимосвязанные. Производитель должен проявлять заботу о качестве в течение всего периода потребления продукта. Он должен обеспечить необходимое послепродажное обслуживание, в особенности для товаров, сложных в эксплуатации.

Требования к обеспечению качества на международном уровне определены стандартами ИСО серии 9000. Эти стандарты установили единый, признанный на международном уровне подход к оценке систем обеспечения качества и одновременно регламентировали требования к производителям продукции. Стандарты ИСО ориентированы на потребителя. Качество можно представить в виде пирамиды (рис. 1. 1) [1].



Рис. 1. 1. Пирамида качества

Наверху пирамиды находится всеохватывающий, тотальный менеджмент качества, который предполагает высокое качество всей работы для достижения требуемого качества продукции. Эта работа связана с обеспечением высокого организационно-технического уровня производства, требуемых условий труда.

Качество работы включает особенность организации всех фаз управления: планирования, учета, анализа, регулирования и работ, непосредственно связанных с выпуском продукции. Качество продукции является составляющей и следствием качества работы. На этом этапе непосредственно оценивается качество выпускаемой продукции, выясняется мнение потребителя, анализируются рекламации.

Качество работы непосредственно связано с обеспечением функционирования фирмы. Это – качество руководства и управления (планирование, анализ, контроль). От качества планирования (разработки стратегии, системы планов и т. п.) зависят достижение поставленных целей и качество фирмы.

Проблема повышения качества продукции актуальна для любого предприятия, особенно на современном этапе, когда в повышении эффективности производства все большее значение имеет качество продукции,

обеспечивающее ей конкурентоспособность. В настоящее время одной из серьезных проблем для российских предприятий является создание системы управления качеством, позволяющей обеспечить производство конкурентоспособной продукции. Наличие сертифицированной системы качества является серьезным аргументом при ведении переговоров с зарубежными заказчиками, считающими обязательным условием наличие у производителя системы качества и сертификата на эту систему.

В теории и практике управления качеством можно выделить два взаимосвязанных понятия: качество продукции и менеджмент качества. Вопросы менеджмента качества рассматриваются в последующих главах книги.

Обеспечение качества требует немалых затрат. Проблема качества не может быть решена без участия ученых, инженеров, менеджеров. Особо актуальной на современном этапе стала проблема повышения качества, которая объясняется следующими факторами [4]:

- Во-первых, повысились требования научно-технического прогресса, которые диктуют коренные качественные изменения во всех сферах научно-производственной деятельности. Ужесточились требования к свойствам и характеристикам продукции (надежность, долговечность, экономичность в эксплуатации и др.). Улучшение качества продукции, в свою очередь, требует повышения качества сырья и энергетических ресурсов, внедрения новых технологий и современного оборудования, использования новых методов организации производства и труда и т. д. Поэтому задача повышения качества продукции приобретает комплексный характер и затрагивает все отрасли промышленности.

- Во-вторых, происходит дальнейшее углубление процесса общественного разделения и усиления тенденций к корпоративности, что приводит к усложнению внутриотраслевых, межотраслевых и межгосударственных производственных связей. Качество даже средней по сложности техники зависит от работы более десятка предприятий различных отраслей. Высокое качество любого изделия требует безусловной ответственности каждого рабочего, ИТР, не зависимо от того, на какой ступени производства он находится. Результат их совместного труда – конечный

продукт – будет удовлетворять потребностям только в том случае, если каждый узел, блок, деталь будут строго соответствовать требованиям стандартов и других нормативных документов.

- В-третьих, по мере удовлетворения потребности в средствах производства и предметах потребления в количественном выражении на первый план выдвигаются их качественные характеристики. Развитие потребностей в улучшении качества границ не имеет, так как в результате общественного развития возникают новые потребности, растут требования к качеству продукции.

- В-четвертых, повышение качества продукции позволяет решать не только технические и экономические, но и социальные задачи.

Проблемой повышения качества продукции занимаются во всех развитых странах мира. Так, в США, Великобритании, Франции, Германии, Италии, Японии и других странах управление качеством продукции выведено на государственный уровень. Переход к рыночной экономике обуславливает необходимость изучения опыта ведущих компаний мира в достижении высокого качества, считающих, что на достижение качества должны быть направлены усилия всех служб.

Во многих странах созданы национальные советы по качеству и надежности, ассоциации по осуществлению контроля качества продукции в промышленности, статистическому управлению качеством, ассоциации стандартов и другие организации.

В СССР проблеме улучшения качества продукции и повышения эффективности производства также уделяли большое внимание. До 1950-х годов действовала система контроля качества продукции, обеспечивающая функции контроля готовой продукции. Позже на разных предприятиях стали создаваться и внедряться системы управления качеством продукции. Эти системы позволяли более эффективно решать задачи повышения качества.

В настоящее время Госстандарт РФ в области управления качеством оказывает содействие отечественным товаропроизводителям по внедрению международных стандартов ИСО серии 9000, представляющих более высокий уровень развития науки управления качеством.

ГОСТ Р ИСО 9001 – 2001 и ГОСТ Р ИСО 9004 – 2001 разработаны как согласованная пара стандартов на системы менеджмента качества. ГОСТ Р ИСО 9001 – 2001 устанавливает требования к системе менеджмента качества, которые могут использоваться для внутреннего применения организациями в целях сертификации или заключения контрактов. ГОСТ Р ИСО 9004 – 2001 содержит рекомендации по постоянному улучшению деятельности организации, а также ее эффективности и результативности. Этот ГОСТ рекомендуется как руководство для организаций, высшее руководство которых, преследуя цель постоянного улучшения деятельности, желает выйти за рамки требований ГОСТ Р ИСО 9001 – 2001.

ГОСТ Р ИСО 9001 – 2001 согласован с другими стандартами и имеет ссылки на Российские стандарты: ГОСТ Р ИСО 9000 – 2001 «Системы менеджмента качества. Основные положения и терминология», ГОСТ Р ИСО 9004 – 2001 «Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности», ИСО 19011 «Руководящие указания по проверкам систем менеджмента качества и (или) охраны окружающей среды», ГОСТ Р ИСО 14001 – 98 «Системы управления окружающей средой. Требования и руководство по применению» и др.

Ключевую роль в повышении качества играют оценки и требования потребителей, информация о неисправностях, просчетах и ошибках. Исследования, проведенные в ряде стран, показывают, что в компаниях, мало уделяющих внимания качеству, до 60 % времени уходит на исправление брака [1].

Эффект от повышения качества продукции выражается в разнообразных формах – прямая экономия материалов и энергии, получение

большого количества продукции на единицу затрат труда, снижение себестоимости и рост прибыли, ускорение оборачиваемости оборотных средств, ускорение экономического и социального развития предприятия.

В повышении качества продукции заинтересованы как изготовители, так и потребители, а также государство. Эффект от повышения качества продукции представлен в табл. 1.1. [4].

Таблица 1.1

Эффект от повышения качества продукции

Эффект от повышения качества продукции		
Для изготовителей продукции	Для потребителей продукции	Для государства
<p>Лучше используются ресурсы.</p> <p>Сокращаются потери от брака и рекламаций.</p> <p>Увеличиваются доходы от реализации продукции повышенного качества</p> <p>Увеличиваются фонды экономического стимулирования за счет роста прибыли</p> <p>Моральное удовлетворение коллектива предприятия</p>	<p>Спрос удовлетворяется меньшим количеством изделий повышенного качества.</p> <p>Расширяется и обновляется ассортимент изделий.</p> <p>Сокращаются затраты в процессе эксплуатации продукции.</p> <p>Создаются более благоприятные условия труда в сфере потребления.</p>	<p>Расширяются экспортные возможности и валютные поступления.</p> <p>Увеличивается народнохозяйственный эффект на единицу затрат.</p> <p>Ускоряется НТП в промышленности.</p> <p>Более полно удовлетворяются потребности населения.</p>

1.2. Уровень качества продукции.

Показатели качества листового стекла и их оценка

Для управления качеством продукции и его повышения необходимо оценивать уровень качества. Область деятельности, связанная с количественной оценкой качества продукции, называется квалиметрией. Оцен-

ка уровня качества продукции служит основой для выработки управляющих воздействий в системе управления качеством продукции. Оценка уровня качества продукции может быть представлена этапами [2], приведенными на рис. 1.2.

Показатели качества продукции разнообразны. Поэтому применительно к каждому виду продукции выбирается соответствующая номенклатура показателей, наиболее полно характеризующая ее качество. По характеризующим свойствам применяют следующие группы показателей: назначения и экономические [4]. Показатели назначения характеризуют свойства продукции, определяющие основные функции, для выполнения которых она предназначена, и обуславливают область ее применения. Эти показатели могут быть разделены на две группы: производственная и потребительская. Для листового стекла к производственной группе показателей назначения можно отнести: трудоемкость изготовления, коэффициент использования стекломассы (КИС), удельный расход газа на стекловарение, удельный расход электроэнергии. К потребительской группе показателей относятся: номинальная толщина, длина и ширина листа, допуски по размерам, оптические искажения листового стекла, коэффициент направленного пропускания света, величина остаточных внутренних напряжений, водостойкость стекла, гарантийный срок эксплуатации стекла. К потребительской группе показателей относятся также экологические показатели, характеризующие уровень вредных воздействий на окружающую среду стекла и процессов, связанных с его хранением, транспортированием и эксплуатацией светопрозрачных конструкций, показатели безопасности, обеспечивающие безопасность человека при хранении, транспортировании листового стекла и изделий из стекла.

Экономические показатели качества изделия также условно делятся на показатели производственной и потребительской группы. К числу показателей производственной группы можно отнести себестоимость и

оптовую цену условного квадратного метра продукции, капиталовложения в производство листового стекла, рентабельность производства и др.

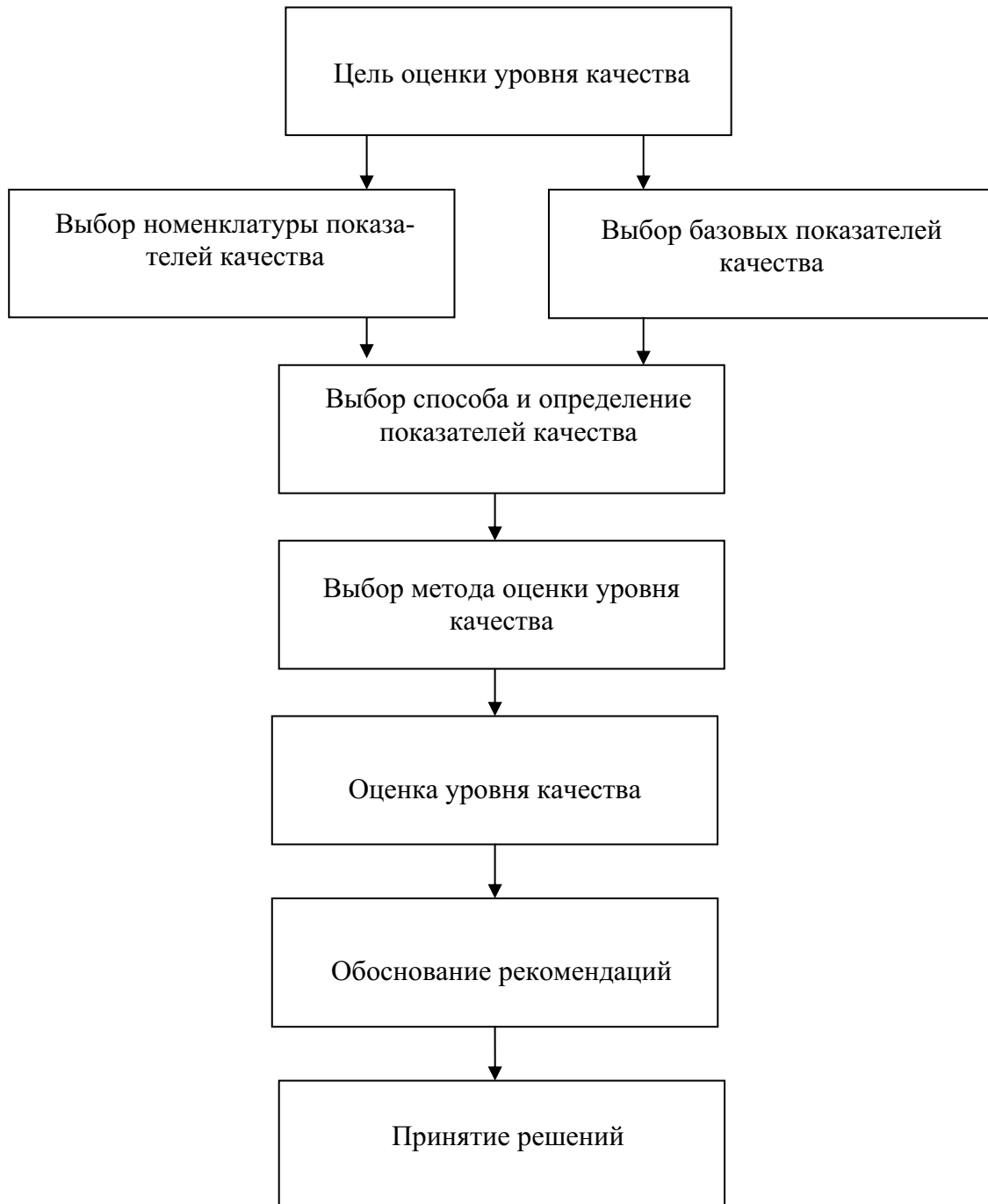


Рис. 1.2. Этапы оценки уровня качества продукции

К потребительской группе экономических показателей качества листового стекла можно отнести себестоимость конкретных видов продукции, изготавливаемых из стекла, производительность труда изготовления продукции из стекла и светопрозрачных конструкций, капиталовложения, связанные с эксплуатацией светопрозрачных конструкций, и др.

Количественная характеристика свойств продукции, составляющих ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации, называется показателем качества [2]. Выбор базовых показателей качества устанавливает перечень наименований количественных характеристик свойства продукции, определяющих ее качество и обеспечивающих оценку уровня качества продукции.

Обоснование выбора номенклатуры базовых показателей качества производится с учетом:

- назначения и условий использования продукции;
- анализа требований потребителя;
- задач управления качеством продукции;
- состава и структуры характеризующих свойств;
- основных требований к показателям качества.

По количеству характеризующих свойств все показатели качества делятся на единичные, комплексные, определяющие и интегральные.

Единичные показатели качества характеризуют одно свойство продукции, например, оптические искажения листового стекла, видимые в проходящем свете.

Комплексные показатели качества характеризуют совокупность нескольких свойств продукции, например, плотность стекла характеризует его механические и химические свойства.

Определяющие показатели качества – оценочные, по ним судят о качестве продукции. Номенклатура определяющих показателей качества листового стекла определена ГОСТ 111-2001 «Стекло листовое. Технические условия».

Интегральные показатели качества выражаются через экономические и технические показатели, например, полезный эффект от использования остекленных конструкций в строительстве, общие затраты на создание и эксплуатацию изделий из листового стекла и др.

Большую роль в обеспечении качества продукции играют статистические методы. Различают следующие виды планов статистического контроля партии продукции по альтернативному признаку: одноступенча-

тые планы, двухступенчатые планы, многоступенчатые планы, последовательный контроль [1].

Согласно одноступенчатому плану если среди n случайно отобранных изделий число дефектных m окажется не больше приемочного числа c , то партия принимается. В противном случае партия бракуется. Основной вероятностной характеристикой плана выборочного контроля является вероятность принять партию продукции с долей дефектных изделий, равной q . Одноступенчатые планы наиболее просты в организации контроля на производстве. Однако они характеризуются невысокой точностью принимаемых решений. Двухступенчатые, многоступенчатые и последовательные планы при одном и том же объеме выборки обеспечивают большую точность.

Двухступенчатые планы, согласно которым, если среди n_1 случайно отобранных изделий число дефектных m_1 окажется не больше приемочного числа c_1 , то партия принимается; если m_1 больше или равно браковочного числа d_1 , то партия бракуется. Если же $c_1 < m_1 < d_1$, то принимается решение о взятии второй выборки объемом n_2 . Тогда если суммарное число дефектных изделий в двух выборках $(m_1 + m_2) \leq c_2$, то партия принимается, в противном случае партия бракуется по данным двух выборок. Двухступенчатые планы обычно используются тогда, когда хотят уменьшить объем испытаний.

Отклоненные партии, как в одноступенчатых, так и в двухступенчатых планах либо бракуются, либо подвергаются сплошному контролю.

Приемку листового стекла на соответствие требованиям стандарта [8] производят партиями. Проверка проводится по двухступенчатому плану контроля. В зависимости от размеров партии меняются числовые характеристики двухступенчатых планов.

Особенность многоступенчатых планов заключается в том, что объем контроля представляет случайную величину. Для принятия решения о качестве партии иногда проверяют только одну выборку, иногда две и более.

В последовательном контроле решение о контролируемой партии принимается после оценки качества ряда выборок, общее число которых заранее не установлено и определяется в процессе контроля по результатам предыдущих выборок.

Оценка качества продукции содержит систематическую проверку продукции на ее соответствие определяющим показателям. Оценка может

проводиться с использованием различных методов определения показателей качества продукции (рис. 1.3).

Измерительный метод основан на информации, получаемой с использованием технических измерительных средств. При проведении приемо-сдаточных испытаний листового стекла используются измерительные методы контроля для определения [8]: толщины и разнотолщинности стекла, длины и ширины листа, разности длин диагоналей листа, отклонения от плоскостности, прямолинейности кромок, прямоугольности углов.

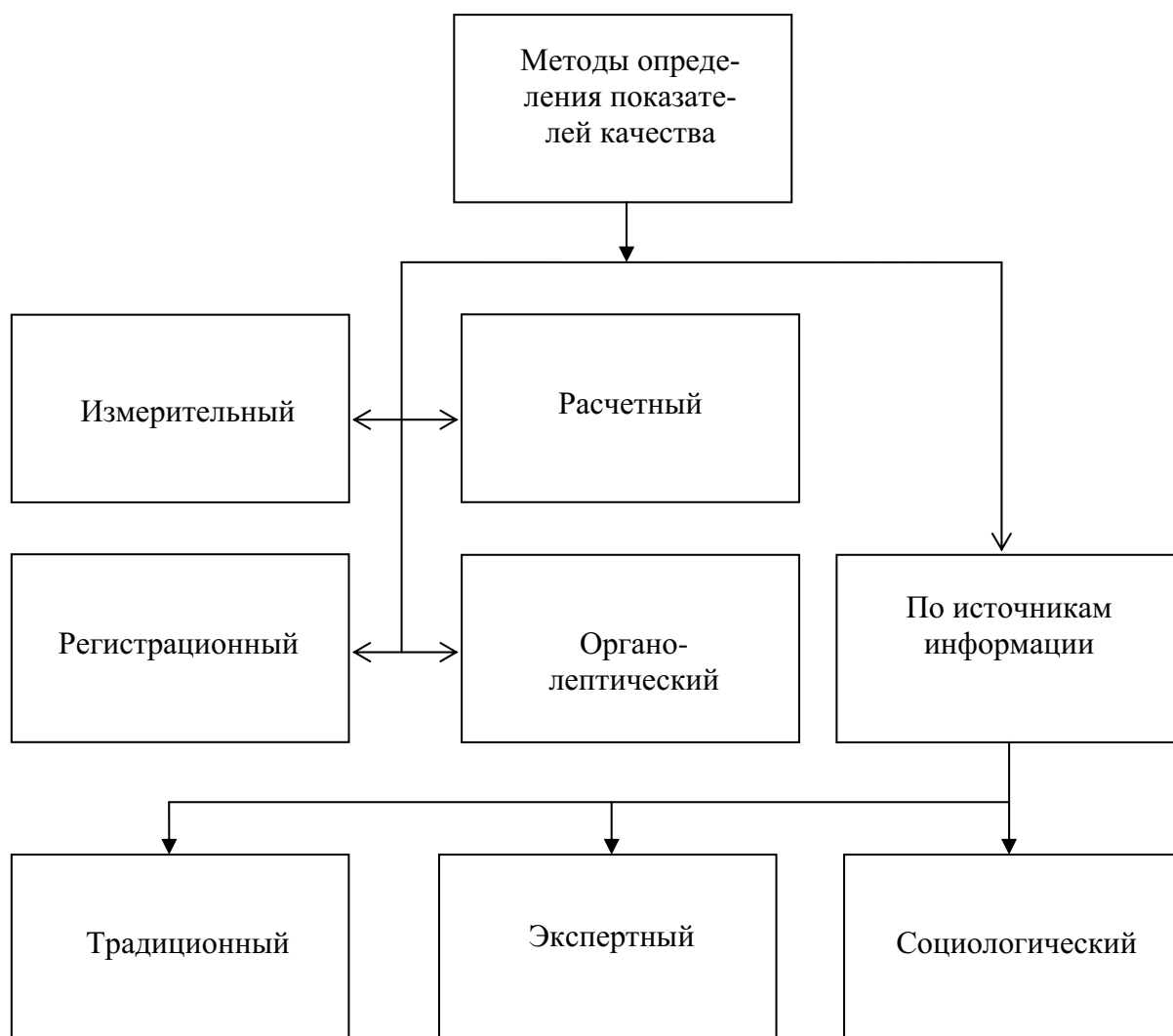


Рис. 1.3. Классификация методов определения показателей качества продукции

Расчетный метод базируется на использовании информации, получаемой с помощью теоретических или эмпирических зависимостей. Этим методом чаще всего пользуются при проектировании продукции, когда она еще не может быть предметом экспериментальных исследований.

Например, цветовые характеристики стекла, окрашенного в массу, так называемые координаты цветности, рассчитываются с помощью специального математического аппарата после проведения необходимых измерений спектрофотометром.

Органолептический метод строится на использовании информации, получаемой в результате анализа восприятий органов чувств: зрения, слуха, обоняния, осязания и вкуса. С помощью органолептического метода определяются оптические искажения стекла, видимые в проходящем свете, а также выявляются и классифицируются видимые пороки стекла [8].

Регистрационный метод основывается на использовании информации, получаемой путем подсчетов числа определенных событий (например, разрывов ленты стекла за смену), предметов или затрат (например, расхода газа на стекловарение).

В зависимости от источника информации методы определения значений показателей качества продукции подразделяются на традиционный, экспертный и социологический.

Традиционный метод осуществляется должностными лицами специализированных экспериментальных и расчетных подразделений предприятий, учреждений. К ним относятся, например, на стекольных заводах центральная заводская лаборатория и контрольная испытательная станция.

Экспертный метод оценки показателей качества продукции реализуется группой специалистов-экспертов. С помощью экспертных методов определяются значения показателей, которые не могут быть определены более объективными методами.

Социологический метод определения показателей качества продукции используется фактическими или потенциальными потребителями продукции. Сбор мнений производится путем опросов или с помощью специальных анкет-вопросников, выставок, конференций и т. д. Так, в ОАО «Борский стекольный завод» собираются и анализируются мнения покупателей о качестве листового стекла, поставляемого заводом.

Относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении значений показателей качества оцениваемой продукции с базовыми значениями таких же показателей, определяет уровень качества про-

дукции. Оценка технического уровня заключается в установлении соответствия продукции мировому, национальному уровням или уровню отрасли. Соответствие оцениваемой продукции мировому уровню или другому устанавливается на основании сопоставления значений показателей.

В результате сравнения продукции с базовым образцом оцениваемую продукцию относят к одному из трех уровней:

- превосходит мировой уровень;
- соответствует мировому уровню;
- уступает мировому уровню.

Результаты оценки используют при разработке новой или модернизации выпускаемой продукции: для обоснования требований, закладываемых в техническое задание и нормативную документацию; при принятии решений о постановке продукции на производство; обосновании целесообразности замены или снятия продукции с производства; формировании предложений по выходу с продукцией на европейский рынок и др.

Этапы оценки технического уровня продукции включают в себя:

- Определение номенклатуры показателей, необходимых для оценки. Номенклатуру устанавливают исходя из целей оценки с учетом показателей, указанных в международных, национальных стандартах и конъюнктурной экономической документации и т. п. В номенклатуру показателей входят классификационные и оценочные показатели, для сопоставления используются оценочные показатели.

- Формирование группы аналогов и установление значений их показателей. При оценке выпускаемой продукции в группу аналогов входят образцы продукции, реализуемые на мировом рынке. Значения их показателей устанавливаются по имеющейся документации или результатам испытаний. При разработке новой продукции в группу аналогов включают перспективные и экспериментальные образцы, поступление которых на мировой рынок прогнозируется на период выпуска оцениваемой продукции.

- Выделение базовых образцов из группы аналогов. В качестве базовых образцов выделяют лучшие из группы аналогов на основе метода попарного сопоставления последовательно всех аналогов по значениям оценочных показателей. В результате сопоставления аналогов остаются базовые образцы, каждый из которых не уступает ни одному из оставшихся по совокупности оценочных показателей.

- Сопоставление оцениваемого образца с базовыми. Сначала проверяют соответствие продукции и значений ее показателей международным стандартам, включая ограничения по показателям безопасности, экологии и т. п.; стандартам, техническим условиям и действующей нормативной документации на продукцию. При выполнении указанных требований сопоставляют оцениваемую продукцию с каждым базовым образцом по оценочным показателям с использованием метода попарного сопоставления. По результатам сопоставления продукцию относят к одной из трех градаций: продукция превосходит мировой уровень, если она превосходит каждый образец; продукция соответствует мировому уровню, если она равноценна хотя бы одному базовому образцу; продукция уступает мировому уровню, если она уступает каждому базовому образцу.

По итогам проведения этапов оценки технического уровня продукции дают заключение о принадлежности продукции к одной из трех градаций.

При отсутствии аналогов оцениваемой продукции она считается соответствующей мировому уровню, если характеризуется принципиально новыми техническими решениями, защищенными патентами.

В современных условиях управление качеством во многом базируется на стандартизации. Стандартизация представляет собой нормативный способ управления процессом производства продукции путем установления норм и правил в нормативно-технических документах. Стандарт устанавливает основные требования к качеству продукции. Важная роль в управлении качеством принадлежит техническим условиям.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 111-2001 «Стекло листовое. Технические условия» [8] содержит нормативно-технические требования к качеству листового стекла, которые направлены на удовлетворение разнообразных потребителей листового стекла. По сравнению с ГОСТ 111-90 в новый стандарт внесены следующие основные изменения:

- в соответствии с оптическими искажениями по видам и количеству пороков установлено восемь марок стекла от М0 до М7. Самые высокие требования предъявляются к стеклу марки М0: не допускается искажение полос экрана «зебра» под углом менее 50 градусов, отклонения показателей отраженного раstra более 3 мм, пороки размером более 0,5 мм на листе стекла площадью до 5 м² не допускаются. Требования к листовому стеклу дифференцированы так, чтобы каждый потребитель мог бы выбрать марку стекла, наиболее удовлетворяющую его по цене и качеству;

- расширен диапазон толщин стекла: от 1 до 25 мм. Допускаемые отклонения по толщине соответствуют требованиям европейского стандарта EN 572;
- исключены ограничения размеров стекла, что значительно расширяет область его применения и снижает потери потребителя. Предельные отклонения размеров по длине и ширине листов стекла, а также разность длин диагоналей приведены в соответствии с требованиями на стеклоизделия по ГОСТ 24866-99, ГОСТ 30698-2000, ГОСТ Р 51136-98;
- повышены требования к величине остаточных внутренних напряжений. Величина остаточных внутренних напряжений характеризуется разностью хода лучей при двулучепреломлении, которая не должна быть более 70 нм/см;
- требование к водостойкости стекла распространено на все марки.

Стандарт дополнен справочными значениями основных физико-механических характеристик стекла [8].

Стандарт устанавливает требования к правилам приемки и методам контроля листового стекла, определяет порядок транспортировки и хранения, содержит указания по эксплуатации, определяет гарантии изготовителя о соответствии стекла требованиям ГОСТ 111-2001 и гарантийный срок эксплуатации стекла- 20 лет.

Новый ГОСТ на листовое стекло является более прогрессивным, приближен к европейскому стандарту EN 572. Его внедрение на отечественных заводах будет стимулировать производителей стекла к достижению высокого качества продукции.

В условиях рыночных отношений, когда предприятиям и организациям предоставлено право самостоятельно выходить на внешний рынок, они сталкиваются с необходимостью объективной оценки соответствия качества и надежности своей продукции – с ее сертификацией. Сертификация представляет документальное подтверждение третьей, независимой стороной соответствия продукции определенным требованиям, конкретным стандартам или техническим условиям. Так, сертификация листового стекла в системе Госстандарта означает документальное подтверждение его соответствия межгосударственному стандарту ГОСТ 111-2001 «Стекло листовое. Технические условия», проведенного независимым, компетентным органом.

Сертификация осуществляется в целях [2]:

- создания условий для деятельности предприятий, предпринимателей, а также для участия в международном научно-техническом сотрудничестве и международной торговле;
- содействия потребителям в компетентном выборе продукции;
- защиты потребителя от недобросовестности изготовителя;
- контроля безопасности продукции для окружающей среды, жизни и здоровья;
- подтверждения показателей качества продукции, заявленных изготовителем.

Госстандарт России считает сертификацию одним из важнейших механизмов управления качеством, дающим возможность объективно оценить продукцию, представить потребителю подтверждение ее безопасности, экологической чистоты, а также повысить ее конкурентоспособность.

Сертификация продукции связана с затратами, тем не менее изготовители вынуждены получать сертификаты, чтобы иметь рынок сбыта и избегать потери при продаже своей продукции. Потери весьма ощутимы, по некоторым данным достигают 25 % от объема продаж [2].

ОАО «Борский стекольный завод» представляет передовое предприятие отрасли в России. Одним из преимуществ завода является качество его продукции, способной конкурировать как внутри России, так и за рубежом [5]. ОАО «Борский стекольный завод» сертифицировал в Госстандарте и Госстрое России основные виды своей продукции: автомобильное стекло, листовое стекло, пулестойкое стекло. Кроме Российских сертификатов, завод омологировал автомобильное стекло во Франции по международным нормам. В настоящее время ОАО «Борский стекольный завод» имеет омологационные свидетельства на все виды автомобильного стекла по межъевропейским и американским стандартам безопасности. Для ветровых многослойных стекол «Триплекс», боковых и задних закаленных стекол: одобрение стандарта США и Канады ANS 26.1.1983, одобрение по правилам № 43/R в странах западной Европы, одобрение в странах Общего рынка по директиве 92/22 ЕЭС.

ОАО «Борский стекольный завод» входит в группу «Главербель». В соответствии с решением Координационного Комитета группы все заводы группы должны работать по единым требованиям и изготавливать полированное стекло одинакового качества в соответствии с требованиями Европейского стандарта EN 572 и спецификаций «Glaverbel»

Качество «Glaverbel» должно:

- соответствовать запросам потребителей, т. е. определяться назначением продукции;
- обеспечивать конкурентоспособность продукции группы на рынке стекла по отношению к другим ведущим производителям;
- быть унифицированным внутри группы (единые нормы и ассортимент).

Продукция должна поставляться со склада, на котором хранится необходимый запас стекла разного уровня качества и установленных типоразмеров. Таким образом, производитель не знает заранее куда будет отправлено стекло. Это позволит эффективнее планировать производство, исключить частые переходы с одной толщины на другую, снизить потери стекла, обеспечивая стабильность технологического процесса и качество выпускаемого стекла.

1.3. Качество продукции как объект управления, факторы, влияющие на качество. Совершенствование технологических процессов производства листового стекла

По международным стандартам ИСО серии 9000 система качества рассматривается как совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для общего руководства качеством. Она включает в себя те аспекты функции управления, которые определяют политику в области качества, цели, ответственность и реализуют ее с помощью средств планирования качества, управления качеством, обеспечение качества и повышение качества в рамках системы качества.

Система управления качеством может рассматриваться как кибернетическая система управления, состоящая из двух основных компонент: объекта управления и управляющей компоненты. Каждая из этих компонент может рассматриваться как система, состоящая, в свою очередь, из частей и отношений между ними, придающих им функциональную целостность.

Объектом управления является управляемая компонента системы, представляющая собой качество продукции. Она включает в себя основные процессы жизненного цикла продукции: маркетинг, подготовку производства и закупки, производство продукции, хранение и отгрузку продукции.

Каждая стадия жизненного цикла выдвигает свои задачи, ставит свои цели, определенным образом влияет на качество продукции.

Маркетинг включает в себя анализ контракта, изучение спроса, работу с претензиями, оценку удовлетворенности клиента и др.

На стадии подготовки производства разрабатывается нормативная документация, ведется проектирование и разработка продукции, осуществляются закупки. Особое место в этой стадии занимают исследование, разработка и проектирование продукции. Цель этих работ – формирование перспективных требований к качеству новой продукции, воплощение их в технических решениях, в конструкторской и технологической документации, обеспечивающих реализацию этих требований наиболее экономичным способом. Факторы качества на данной стадии играют значительную роль в формировании качества продукции. Так, по оценкам американских специалистов, если все меры обеспечения качества принять за 100 %, то 75 % приходится на поиск конструктивных решений, проектирование, отработку макетов и доводку опытных образцов, отладку технологии; 20 % – на контроль производственных процессов; 5 % – на окончательную приемку изделия [2].

Стадия производства продукции включает в себя текущее планирование, обслуживание и ремонт, управление несоответствующей продукцией, выработку корректирующих и предупреждающих действий. В процессе производства основной задачей становится обеспечение необходимых технических, организационных, производственных и социальных условий для получения заданного уровня качества в соответствии с требованиями технической документации. Эта задача довольно сложная. Для ее успешного решения необходимо своевременное введение прогрессивных технологических процессов и высокопроизводительного оборудования; должное обеспечение качественными материалами, инструментом, оснасткой, хорошая организация службы технического контроля, обеспечение своевременной и достоверной информацией о качестве.

Важное значение имеет воспитание у коллектива высокой ответственности за качество продукции, улучшение организации и повышение культуры производства, мобилизация внимания трудовых коллективов на вопросах повышения качества продукции и культуры производства.

На стадии хранения и отгрузки продукции должно быть обеспечено максимальное сохранение объемов и качества готовой продукции, установленных плановым заданием и нормативной документацией. При эксплуатации управление качеством осуществляется главным образом потребителем. Правила эксплуатации излагаются в эксплуатационных документах. От этих документов и строгого следования изложенным в них правилам зависит, насколько грамотно будет эксплуатироваться продукция. Правильная эксплуатация может продлить срок службы продукции, что эквивалентно экономии материальных и трудовых ресурсов.

В последние годы в ОАО «Борский стекольный завод» проделаны большие работы по совершенствованию технологических процессов производства листового стекла, их интенсификации, механизации и автоматизации, расширению ассортимента и повышению качества продукции [5]. 26 сентября 2002 года завершены два крупнейших инвестиционных проекта на сумму более 50 млн. долларов. В рамках проекта проведены холодные ремонты второй (в 2000 г.) и первой (в 2002 г.) флоат-линий. Сегодня ОАО «Борский стекольный завод» имеет самое современное оборудование, возможно, лучшее в интернациональной группе Главербель. Это позволяет значительно улучшить качество продукции и повысить производительность технологических линий.

Все технологические переделы завода соответствуют требованиям высокого технического уровня.

Цех приготовления шихты является первым звеном стекольного производства, одним из самых ответственных на заводе. Всякие нарушения, начиная от несвоевременного поступления сырьевых материалов и готовой шихты и кончая нарушениями в технологии приготовления шихты, могут отразиться на работе стекловаренных печей. Качество получаемой шихты зависит от качества поставляемых сырьевых материалов. Качество сырья строго контролируется при поступлении на завод ЦЗЛ на соответствие их требованиям ГОСТов или технических условий (ТУ).

Технологический процесс приготовления шихты строится на основе принятого рецепта химического состава стекла. Для флоат-стекла определен следующий состав (табл. 1.2) [4]:

Таблица 1.2

Химический состав флоат-стекла

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃
73,0 %	0,9 %	8,7 %	3,6 %	13,4 %	0,3 %	0,1 %

Весовой состав шихты является исходным для организации производства шихты. На производстве устанавливают показатели качества шихты с обозначением сортности в зависимости от отклонений весового состава хотя бы одного компонента (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Сортность шихты в зависимости от отклонений весового состава

Высший сорт	1-й сорт	2-й сорт	3-й сорт
до 0,3 %	до 0,6 %	до 0,8 %	до 1,0 %

В цехе приготовления шихты установлено четыре дозирочно-смесительные линии с учетом резерва на случай аварийных остановок или выполнения работ, предусмотренных графиком профилактических работ. Производство рассчитано на приготовление высококачественной шихты для флоат-линий в объеме до 1000 т в сутки на трех линиях. Все транспортные потоки и дозирочно-смесительные линии максимально автоматизированы на основе АСУТП шихты.

Автоматизированная система состоит из двух подсистем: автоматической системы управления четырьмя дозирочно-смесительными линиями (АСУ ДСЛ) и автоматической системы управления поточно-транспортными линиями (АСУТП ПТЛ).

Рабочим местом оператора – технолога является центральный пункт управления. Он оснащен специализированным пультом управления с установленным на нем ключами выбора режима работы каждой подсистемы АСУ ДСЛ и АСУ ПТЛ, индикаторами световой аварийной сигнализации, персональными ЭВМ ДСЛ и ПТЛ, мнемосхемами ДСЛ и ПТЛ, местной связью и телефоном.

Оператор ЦПУ в системе АСУТП является главным дирижером технологического процесса. В случае возникновения любой аварийной ситуации на линии дозирования или линии смешивания оператор принимает меры по восстановлению нормального цикла работы технологического оборудования.

При работе в условиях АСУТП шихты могут возникнуть нарушения, связанные с ошибками в работе оператора ЦПУ, со сбоями в системе автоматики или вызванные поломкой оборудования. Поэтому подготовке обслуживающего персонала и соблюдению графика ППР оборудования уделяется самое серьезное внимание.

На рабочих местах руководителей цеха установлены персональные компьютеры, позволяющие наблюдать и управлять ходом технологического процесса.

Большинство причин возникновения пороков стекломассы кроется в двух производственных фазах: подготовка шихты и процесс варки стекла. Исходя из этих соображений, приготовлению шихты уделяется серьезное внимание. При этом соблюдаются следующие правила:

- 1) использовать только пригодные сырьевые материалы;
- 2) соблюдать заданные зерновой состав и влажность всех сырьевых материалов;
- 3) соблюдать точность взвешивания каждого компонента;
- 4) производить смешивание до оптимальной однородности шихты;
- 5) соблюдать оптимальное увлажнение шихты;
- 6) предупреждать расслаивание шихты;
- 7) систематически производить контроль качества шихты лабораторными экспресс-методами.

Производство шихты в части промышленной санитарии является неблагоприятным в связи с повышенным пылевыделением на рабочих участках и в атмосферу. В целях соблюдения экологических норм по пылевым выбросам в помещение и атмосферу цех оборудуется системами аспирации и вентиляции.

Кардинально изменились за последние годы на заводе техника стекловарения, которая развивалась по пути физической и химической активизации расплава стекла, интенсификации процессов тепло- и массообмена, реализации конструктивных усовершенствований и совершенствовании технологических режимов и составов сырья для ваннных печей.

В конструкции и ремонте стекловаренной печи использовались новые, передовые в мировой практике технические решения, позволяющие продлить межремонтный период эксплуатации стекловаренных печей, снизить трудозатраты при ремонте печи, повысить интенсивность процесса варки и качества стекла, сократить вредные выбросы в атмосферу [4].

Применение системы барботажа азотом позволило ускорить процесс варки и гомогенизации стекломассы, повысить качество стекла.

Перемешивание стекла с помощью мешалки, установленной в пе-режиме печи, ускорило процесс выравнивания температур в слоях стекломассы, улучшило однородность стекла.

Полная и тщательная теплоизоляция свода стекловаренной печи, горелок и регенераторов позволила повысить стабильность теплового режима печи, значительно снизить затраты тепловой энергии.

При ремонте стекловаренной печи применялась новая технология сборки элементов печи, усовершенствованы конструкции отдельных ответственных узлов печи. В период холодного ремонта использовались ряд новых технических решений.

Технологический режим варки стекла включает в себя [5]:

- 1) тепловой режим по длине печи;
- 2) гидравлический режим печи;
- 3) температурный режим по длине печи до зоны формования.

Поддержание постоянства главных параметров технологического процесса обеспечивает химическую и термическую однородность стекломассы и необходимую температуру формования. Важными параметрами процесса варки стекла являются:

- 1) уровень стекломассы и ее суточный съём;
- 2) соотношение шихты и боя;
- 3) давление в полости печи и разрежение в регенераторах и боровых;
- 4) температура во всех точках варочного бассейна, студочной и выработочной частей, в газовой полости печи и стекломассе;
- 5) температура регенераторов;
- 6) соотношение топлива и воздуха.

Тепловой режим стекловаренной печи характеризуют:

- распределение топлива по горелкам или относительные тепловые нагрузки горелок по длине печи;
- общий и удельный расход топлива в печи;

- соотношение топлива и воздуха в печи и режим его изменения на каждой горелке по длине печи;
- тепловое напряжение варочного бассейна и над зоной варки.

Для работы печи с высокой производительностью и получения качественной стекломассы необходимо стремиться к наладке теплового режима в процессе пуска печи с параметрами, указанными в табл. 1.4

Таблица 1.4

Относительная тепловая нагрузка горелок по длине печи

Горелки	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	7-я
Нагрузка, %	15-18	16-19	17-22	19-24	12-18	5-12	0-7

Кроме теплотехнических показателей важное значение имеет визуальный контроль за внешним видом факелов: фиксируется симметрия их расположения относительно оси горелок, степень удаленности факела от огнеупоров влета горелок, перелеты факела, завихрения факела в сторону свода и степень удаленности его от свода.

Корректировку теплового режима печи проводят при временном снижении производительности печи для сохранения общего теплового баланса и в аварийных ситуациях, когда в печь загружается только шихта или только бой.

Гидравлический режим печи включает группу технологических параметров, определяющих условия эвакуации из печи дымовых газов и поступления в нее воздуха для процесса горения. От соотношения этих факторов зависит давление в газовой полости печи, полнота сгорания топлива, отдача тепла от факела. Объем подаваемого воздуха регулируется с помощью секционных шиберов.

Оптимальным считается коэффициент избытка воздуха 1,05 – 1,10. Допускается увеличение этого коэффициента по длине печи для обеспечения окислительной газовой среды в зоне открытого зеркала стекломассы, поэтому средняя величина этого коэффициента оказывается выше оптимальной (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Коэффициент избытка воздуха на горелках по длине печи

Горелки	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	7-я	Средний на печь
Коэффициент избытка	1- 1,35	1- 1,25	1,05- 1,25	1,05- 1,35	1,3- 1,5	1,4- 1,8	1,4- 2,0	1,0-1,8

В достаточной степени герметизированная печь с покрытием всех поверхностей горелок и рекуператоров газоплотными обмазками имеет стабильный процесс горения, давления в газовом пространстве, положения зоны варки и, следовательно, температуру выработочного потока стекломассы.

Важной качественной характеристикой гидравлического режима печи является слабое выбивание факела из печи, что свидетельствует об избытке давления в полости печи по отношению к атмосфере цеха. Наблюдение за выбиванием факела ведется в нескольких отверстиях вблизи зоны выработки на уровне зеркала стекломассы.

Постоянство давления в полости печи может поддерживаться автоматическими регуляторами при достаточно полной герметизации газовой полости печи, особенно студочной части и выработочных каналов.

Разрежение у шибера дымовой трубы имеет важное значение для обеспечения нормальной работы печи. Величина разрежения меняется в зависимости от давления газов в ванной печи и сопротивления дымо-воздушного тракта. При резком изменении разрежения следует проверить состояние дымо-воздушного тракта.

Температура стекломассы и температурный режим в верхнем строении печи являются итогом организованного в печи процесса горения и сложившегося теплового баланса между производительностью печи и расходом топлива.

Существенное значение имеет температурный режим стекломассы. В определенных сечениях по длине стекловаренной печи должна поддерживаться постоянная во времени заданная температура. Изменения температуры стекломассы оказывают значительное влияние на процесс формо-

вания и качество стекломассы. Поэтому рекомендуется составлять контрольную карту текущего наблюдения за теплотехническим режимом и анализировать происходящие изменения (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Контрольная карта теплотехнического режима печи

Р, т/см.	100	110	120	130	140	150	± 1 т/см.
$T_{\text{ср}}$, °С	1190	1195	1200	1205	1210	1215	± 5 °С
T_1 , °С	1135	1140	1145	1150	1155	1160	± 10 °С

Обозначения:

Р – производительность печи по съему стекломассы в смену, т/см;

$T_{\text{ср}}$ – средняя температура дна ванны печи, рассчитанная по показаниям трех термопар, установленных до первой пары горелок, между третьей и четвертой парами горелок, за седьмой парой горелок, °С;

T_1 – температура дна до первой пары горелок, °С.

Практикой установлены требования к температурному режиму в верхнем строении печи при производстве листового стекла [5]:

- температурный режим должен обеспечивать средний уровень температуры не ниже 1420 – 1470 °С и уровень максимальных температур не выше 1580 – 1590 °С и не ниже 1500 °С;
- обеспечить протяженность зоны варки 50 % от длины варочного бассейна;
- область максимальных температур должна находиться примерно в середине варочного бассейна по его длине;
- после зоны максимальных температур необходимо избегать повторного его повышения во избежание пузырей;
- зона максимальных температур должна совпадать с квель-пунктом, располагаться над конечными участками варочной пены;
- плавное снижение температур от зоны их максимальной величины до последней горелки должно происходить со скоростью 6 – 15 °С/м.

В процессе стекловарения необходимо постоянно следить за содержанием окиси железа в стекломассе, которое оказывает существенное значение на качество стекла. Для этого ежедневно отмечается на графике число Редокса (R) [4]. При $R \geq 0,25$ в стекле присутствуют мошка и пузыри,

а при $R \geq 0,3$ все стекло идет в брак. Этот контроль ведется по результатам лабораторных анализов, желательно было бы его автоматизировать. Число Редокса зависит от качества шихты и от состояния атмосферы в газовом пространстве.

Пороки в стекле возникают по разным причинам. Главными из них являются неоднородность шихты, нарушение процессов варки, осветления и охлаждения стекломассы, разрушение огнеупоров, химическое взаимодействие стекломассы с огнеупорами и газами стекловаренной печи. Пузыри и мошка (мелкие пузыри) являются довольно распространенным видом пороков стекла. Они портят внешний вид стеклоизделий, снижают их химическую и механическую стойкость. Возникновение газообразных включений может происходить по разным причинам [13]. Неполное удаление газообразных продуктов разложения шихты; вторичное разложение составных частей стекломассы и взаимодействие ее с печными газами; попадание воздуха в стекломассу; присутствие в стекломассе металлического железа.

Стекловидные включения отличаются по химическому составу от основной массы стекла. Их называют свиллями и шлирами. Свиль и шлиры неблагоприятно влияют на оптические свойства стекла, затрудняют процесс отжига, повышают хрупкость и понижают механические свойства листового стекла. Причинами появления стекловидных включений могут быть: неоднородность химического, гранулометрического и минералогического составов сырья, расслоение стекломассы, недостаточная гомогенизация стекломассы, разрушение огнеупоров кладки и растворение в стекломассе, вымывание из огнеупоров некоторых окислов (кремнезема, глинозема), попадание в стекломассу капель со свода печи и др.

Твердые нестекловидные включения (камни) представляют непрозрачные образования, заключенные в толще стекла. Этот вид пороков портит внешний вид стекла, ухудшает оптическую однородность, снижает механическую прочность. В зависимости от происхождения камни разделяются: на шихтные камни (непровар); продукты разрушения огнеупоров; продукты кристаллизации (расстеклованные камни или "рух"). Причинами возникновения камней являются разрушения огнеупоров печей в ходе варки, низкое качество подготовки шихты, кристаллизация стекломассы (зависит от температуры варки и состава стекла), избыточность сульфата натрия в шихте, загрязнение шихты хромоникелевыми минералами [13, 14].

Качество стекломассы во многом зависит от стабильности ведения технологического процесса варки (табл. 1.7) [5]:

Таблица 1.7

Стабильность технологических параметров при эксплуатации
стекловаренной печи

Контролируемый параметр	Точность регулирования
Температура пламенного пространства:	
- в варочном бассейне	± 20 °С
- в студочной части	± 5 °С
Температура стекломассы:	
- в зоне варки	± 15 °С
- в варочном бассейне	± 10 °С
- в студочной части	± 5 °С
- в выработочной части	± 2 °С
Расход газа:	
- общий	± 30 м ³ /ч
- по горелкам	± 20 м ³ /ч
Давление в полости печи	$\pm 0,1$ Па
Уровень стекломассы	$\pm 0,25$ мм
Коэффициент избытка воздуха	$\pm 0,1$
Разрежение	$\pm 9,8$ Па

Стабильность теплового, гидравлического и температурного режимов работы печи зависят от уровня автоматизации контроля и управления этими процессами. На заводе эта задача решается с помощью АСУТП стекловарения. Стабилизация режимных переменных с помощью автоматических регуляторов, технологический контроль режима варки с помощью системы мониторинга РІ, статистический анализ и регулирование процесса варки с помощью системы поддержки принятия решений «Технолог стеклового производства» обеспечивают варку стекла высокого качества [10].

На заводе разработан и внедрен в производство новый состав шихты, в котором содержание сульфата натрия снижено почти в два раза до минимально необходимого количества, требуемого для осветления стекломассы [4]. Соответственно снижено и содержание восстановителя-угля.

При этом окислительно-восстановительный потенциал шихты остался прежним. В составе стекла снизилось содержание сернистого ангидрида SO_3 . За счет снижения в стекле сернистого ангидрида уменьшилась вероятность образования во флоат-ванне сульфида олова SnS , являющегося источником пороков на флоат-стекле. Снижение содержания сульфата натрия в шихте позволило значительно снизить выбросы вредного сернистого газа в атмосферу, уменьшить засорение насадок регенераторов вследствие пылеуноса сульфата, снизить разъедание огнеупоров.

На Борском стекольном заводе эксплуатируются две ванны семигорелочные стекловаренные печи производительностью от 360 до 600 тонн стекломассы в сутки. Удельные максимальные съемы стекломассы составляют 1,8 – 2,3 тонны с 1 м² варочной площади в сутки при коэффициенте использования ее 0,9.

Из выработочной части ванной печи стекломасса по выработочному каналу и сливному устройству поступает во флоат-ванну с расплавленным оловом, где осуществляется процесс формования и охлаждения ленты до температуры, с которой она выходит из ванны и поступает в лер для отжига. Температура стекломассы, поступающей в канал, стабилизируется системой автоматического регулирования на уровне 1080⁰С с точностью ± 1 ⁰С за счет изменения расхода воздуха, подаваемого в студочную часть ванной печи [4].

Применяются два способа получения ленты стекла на расплаве олова: метод прямого вытягивания для получения стекла толщиной 5 и 6 мм и метод дополнительного прямого вытягивания для получения стекла толщиной до 2 мм.

При прямом вытягивании стекломасса находится под воздействием только тянущей силы лера. При получении стекла толщиной менее 6 мм в дополнение к тянущей силе лера применяются несколько пар бортоформирующих машин, создающих поперечные растягивающие усилия. Варьируя скоростями лера, бортоформирующих машин, изменяя подачу стекломассы, получают различную толщину ленты стекла. Работа бортоформирующих машин обеспечивает успешное ведение технологического процесса, поэтому в ее конструкции предусмотрено дублирование приводных систем для исключения аварийных остановок.

Направление движения ленты стекла во флоат-ванне фиксируется ограничителями и толкателями, которые препятствуют смещению ленты относительно продольной оси ванны.

Процесс формования ленты стекла во флоат-ванне проходит в защитной атмосфере. Известно, что олово в расплавленном состоянии легко окисляется с образованием окисной пленки, которая вступает в реакцию со стеклом. Чтобы этого избежать, флоат-ванна изолирована от окружающей среды, а внутреннее пространство заполнено газами защитной атмосферы, которые препятствуют окислению олова. В состав защитной атмосферы входят азот и водород в количестве от 2 до 12 %. Азот защитной атмосферы препятствует течению окислительных реакций, а водород восстанавливает окислы. Избыточное давление защитной атмосферы 2 – 5 мм вод. ст. препятствует попаданию окружающего воздуха. Требуемая защитная атмосфера во флоат-ванне выдерживается автоматическим регулированием соотношения расходов азота и водорода и давления защитной атмосферы.

Требования к чистоте газов защитной атмосферы очень высокие. Азот не должен иметь примесей кислорода более 0,0005 %. Такой же чистоты по отношению к кислороду должен быть и водород. Влажность газов должна соответствовать точке росы -50 -70 °С.

С помощью навесных водоохлаждаемых холодильников обеспечивается повышение вязкости ленты стекла в зоне растягивающего действия бортоформирующих роликов и у выходного конца ванны. Холодильники размещаются поперек ванны на расстоянии 50 – 70 мм над поверхностью стекла. Применяются холодильники двух типов: с равномерным поперечным сечением и с увеличенной в средней части охлаждающей поверхностью. Количество холодильников подбирается в зависимости от требуемой площади охлаждения.

В атмосфере ванны содержатся летучие компоненты окислов олова, которые конденсируются на холодильнике и близко расположенных участках свода, образуя отложения. По мере накопления эти отложения начинают падать на поверхность стекла, образуя пороки. Это требует проведения периодической чистки свода и холодильников.

В ходе флоат-процесса бывают случаи, когда стекломасса, растекаясь по поверхности олова, достигает стенок бассейна и прилипает к ним. Это налипшее стекло должно удаляться вручную во избежание нарушения процесса формования.

Для нормального ведения технологического процесса формирования ленты стекла необходимо вести постоянный контроль и регистрацию температур, состояния газов защитной атмосферы, фиксировать параметры ленты стекла и ее положение. Эту функцию выполняет система мониторинга PI (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Стабильность технологических параметров
при эксплуатации флоат-ванны

Контролируемый параметр	Точность выдерживания
Температура стекломассы, поступающей во флоат-ванну	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
Температура олова в пролетах	$\pm 5^{\circ}\text{C}$
Температура ленты стекла на выходе из флоат-ванны	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
Температура поверхности дна кожуха ванны	не более 120°C
Температура в пространстве между верхним металлическим и подвесным керамическим сводами свода	не более 350°C
Контроль защитной атмосферы:	
- давления во флоат-ванне	$\pm 0,05 \text{ кг/см}^2$
- расхода	$\pm 1 \text{ м}^3/\text{ч}$
- влажности газов не более, точка росы	-18°C
Контроль ширины и положения ленты стекла	$\pm 100 \text{ мм}$
Контроль слива стекломассы и формирования ленты стекла	Визуальный телевизионный контроль
Уровень олова в ванне	$\pm 1 \text{ мм}$
Количество олова в стекле	$\pm 0,05 \text{ г/м}^2$

Дефекты флоат-стекла могут возникать по разным причинам. Проникающий в ванну из окружающей атмосферы кислород и сера, выделяющаяся из стекла, в результате простейших реакций с оловом образуют окись олова и сернистое олово, представляющие источники большинства пороков флоат-стекла: капли олова на поверхности стекла, «хлопья» олова, пятна и полосы на нижней поверхности стекла (дросс), блюм-эффект, мелкие и крупные пузыри, посечки и выколки.

Показателем, чувствительным к химическим условиям ведения процесса формования флоат-стекла, служит подсчет олова, проникающего в нижнюю поверхность стекла. Подсчет проводится измерением характеристики спектрального излучения олова, испускаемого оловосодержащей поверхностью стекла, возбужденной рентгеновскими лучами с определенной длиной волны.

При формировании ленты стекла в результате разницы температур по ширине ленты, по глубине олова, под действием сил растяжения, действующих перпендикулярно оси флоат-ванны, возникают такие дефекты, как разнотолщинность, прерывистые линии, постоянные линии, отдельные волны. К порокам формования относятся также [8] отпечатки валков, кованость, прилипшая крошка.

На заводе эксплуатируются две флоат-ванны со следующими характеристиками вырабатываемой ленты стекла: толщина ленты 2 – 15 мм, ширина ленты до 3,21 м (без бортов), разнотолщинность до 0,05 мм.

Процесс формования ленты стекла определяет величину и распределение остаточных напряжений по толщине и ширине ленты стекла. После того как стекло отформовано в условиях повышенной температуры, его охлаждают до комнатной температуры таким образом, чтобы освободить от остаточных внутренних напряжений для обеспечения качественной резки. Отжиг движущейся ленты проводят в горизонтальных туннельных печах. Отжиг стекла протекает в диапазоне температур 540 – 470 °С. Хорошо отожженное стекло является очень хрупким. Камни, включения, олово могут приводить к бою стекла в зонах охлаждения после отжига. И, наоборот, плохо отожженное стекло, очень крепкое, и в охлаждающих зонах допускает более высокие термические удары. Однако резка стекла затруднена, поскольку имеются слишком большие напряжения. После отжига лента поступает на автоматизированную транспортную линию, где осуществляются резка и раскрой на заданные форматы.

На заводе эксплуатируются современные высокопроизводительные печи отжига непрерывного действия. Скорость движения ленты может достигать 1200 м/ч при ширине ленты до 4,5 м. Печь отжига состоит из двух частей: закрытой части и открытой [4, 12]. Закрытая часть печи имеет три температурные зоны: А, В, С. Эти зоны внутри туннеля имеют сводовые и подовые воздушные охлаждающие калориферные системы, а также боковые электрические сводовые нагреватели. Зона А является предотжиговой. В ней охлаждается лента с целью выравнивания и понижения тем-

пературы от 600 до 550 °С. В зоне ответственного отжига В стекло охлаждается до температуры 500 °С, а в зоне С – быстрое охлаждение до 380 °С. На основании исследовательских и опытных работ выведена температурная кривая охлаждения ленты стекла по принципу «быстро – медленно – быстро» и определены основные технологические параметры: количество зон, температура в зонах, скорость перемещения стекла, длина зоны и скорость охлаждения стекла в каждой зоне.

Контроль температуры в зонах осуществляется термопарами, установленными в своде в конце каждой из зон. Термопары расположены по пять штук по ширине туннеля. Температура в зонах поддерживается автоматическими регуляторами путем изменения расхода воздуха через калориферные системы.

Скорость охлаждения стекла в зоне В является основным технологическим параметром печи отжига, от которого зависит конечная величина остаточных напряжений. Поэтому при эксплуатации печи непрерывно контролируется и поддерживается заданная скорость охлаждения стекла.

На основании производственного опыта установлено, что если при толщине стекла 6 мм скорость охлаждения в зоне В не превышает 20 °С/мин, то остаточные напряжения будут в пределах нормы – не выше 14 кгс/см². При выполнении этих условий отжиг стекла меньших толщин не вызывает затруднений, т. к. не требует корректировки температурного режима. При отжиге стекла тонких номиналов (2-3 мм), когда увеличивается скорость движения ленты стекла и сохраняется перепад температур по зонам, неизбежно увеличивается скорость охлаждения ленты стекла. Однако при этом за счет меньшей толщины стекла остаточное напряжение в стекле остается в допустимых пределах.

Допустимые показатели отжига при разной толщине стекла приведены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Допустимые остаточные напряжения в стекле

Толщина стекла, мм	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
Остаточные напряжения, кгс/см ²	6-7	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	18-19

Открытая часть печи имеет пять температурных зон: D, E, F1, F2, F3, охлаждение ленты стекла ведется потоками воздуха от вентиляторов через специально оборудованные устройства.

В зоне D протекает прямое усиленное конвекционное охлаждение с частичной циркуляцией воздуха с целью понижения температуры стекла с 380 до 285 °С. Система автоматического регулирования стабилизирует давление и температуру смешанного воздуха, подаваемого в систему охлаждения.

В зоне E происходит естественное конвекционное охлаждение, лента стекла проходит открытый участок печи отжига.

В зоне F1 ведется прямое конвекционное охлаждение ленты вентиляторным воздухом через специальное обдувочное устройство с целью понижения температуры стекла от 285 до 195 °С.

В зоне F2 ведется прямое конвекционное охлаждение с целью понижения температуры стекла до 110 °С посредством специальных обдувочных устройств. В зоне F3 температура стекла доводится до 60 – 70 °С. Температура стекла в зонах F1 – F3 регулируется вручную при помощи заслонок с дистанционным управлением.

Технологические данные печи отжига, обеспечивающие величину остаточных напряжений не выше 14 кгс/см², приведены в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Конструктивные параметры и режим отжига туннельной печи

Зоны	A	B	C	D	E	F1	F2	F3
Длина, м	18	21	18	15	1	13,2	13,2	13,2
Температура, °С	550	500	380	285	285	195	110	70
Скорость охлаждения, °С/мин	23,6	20,3	57,7	57,3	0	58	54,8	29

Из печи отжига качественная лента стекла поступает на рольганг и проходит участок автоматического и визуального контроля. Если же лента стекла выходит из печи отжига с недопустимыми дефектами, то после по-

перечной резки (если возможно ленту резать) она попадает в боительную машину, встроенную в линию рольганга, и превращается в бой. Боительная машина работает до тех пор, пока не будут устранены дефекты стекла.

Плоскостность стекла является отражением охлаждения ленты стекла в отжиговой секции. При охлаждении верхней поверхности стекла сильнее нижней лента приобретает форму «дуги». «Резальная» способность ленты определяется распределением напряжений в поперечном сечении ленты, которое зависит от однородности температуры в ленте стекла при ее охлаждении. Качество отжига влияет на оптические и механические свойства ленты стекла. Контроль качества отжига ленты стекла на производстве ведется работниками контрольно-измерительной станции с помощью полярископов-поляриметров марок ПКС-125, ПКС-250.

В процессе эксплуатации отжигательной печи могут возникать нарушения технологического процесса, как следствия температурных отклонений от заданных величин по ширине ленты и по длине печи. Нарушения могут быть вызваны также пороками стекломассы, нарушениями во флоат-ванне, некачественным обслуживанием печи, неисправностями трансмиссии привода, дефектами изоляции. Все нарушения выявляются на ленте стекла.

На стекольных заводах, производящих стекло, резка стекла является первой технологической операцией при его переработке. Сначала непрерывная лента стекла режется на листы заданных размеров с помощью автоматической резной балки. Далее стекло может отправляться на склад готовой продукции, откуда отпускается потребителям как товарная продукция. На Борском стекольном заводе, выпускающем техническое стекло, значительная часть его поступает на внутреннюю промышленную переработку. Большие листы раскраиваются на роботизированных резных станках на прямоугольные заготовки, из которых вырезаются заготовки конкретных изделий.

Процесс резки стекла состоит из двух операций: нанесение на поверхность стекла линии реза и разлом стекла по линии реза. Качество резки, точность размеров зависят от качества режущего инструмента и режущего устройства. Появление дефектов может быть связано с качеством стекла, качеством режущего ролика, состоянием режущего устройства. К числу пороков, вызываемых механическими повреждениями, относятся [8]: скол, выступ, отбитый угол, трещина.

В дальнейшем стекло технического назначения подвергается операции обработки кромки абразивным кругом. В состав автоматизированных поточных линий для изготовления автомобильных стекол входят кромкообрабатывающие агрегаты, работающие в автоматическом режиме, обеспечивающие высокое качество обработки кромок.

В течение длительной эксплуатации флоат-линий на заводе накоплен значительный статистический материал о дефектах на ленте стекла, причинах появления и отработаны методы их устранения. Эти данные используются для обучения операторов, что позволяет повысить их квалификацию и качество работы.

1.4. Основные физико-механические характеристики листового стекла и их зависимость от химического состава и режима варки-выработки

Вырабатываемое листовое стекло обладает целым рядом свойств. В книге рассматриваются те свойства, которые имеют практическое значение при использовании стекла или же знание которых необходимо для разработки алгоритмов управления качеством листового стекла. Свойства стекла как любого другого материала, можно разделить на ряд групп, важнейшими из которых для листового стекла являются механические, термические, оптические, химические. Свойства стекла в твердом состоянии зависят от его химического состава, температуры, давления и времени, иначе говоря, от «тепловой истории». Подробнее рассмотрим зависимость основных свойств стекла от его химического состава и режима варки-выработки.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. Плотность стекла является важной физической величиной, от которой зависят тепловые, оптические и ряд других свойств. Плотность листового стекла при комнатной температуре равна 2,45 – 2,55 г/см³. Отдельные стеклообразующие окислы по-разному влияют на плотность. По убыванию степени влияния на плотность они располагаются в следующий ряд: CaO, MgO, Na₂O, Al₂O₃, SiO₂. Плотность зависит также от теплового режима работы стекловаренной печи, предварительной обработки шихты и других факторов. Плохо отожженные и плохо закаленные стекла имеют меньшую плотность, чем хорошо отожженные. По изменению плотности вырабатываемого стекла судят о стабильности технологического процесса и состоянии производства [15], определяют допуски на колебания содержания оксидов в листовом стекле [16].

Хрупкость характеризует свойство листового стекла мгновенно разрушаться при воздействии ударных нагрузок. На хрупкость стекла влияет однородность, она зависит от формы, размеров образца и термической обработки.

Прочность является важным свойством стекла, которое определяет возможности применения стеклянных изделий в любой области техники. Прочность определяется пределами прочности при различных видах нагрузок: сжатии, растяжении, изгибе. Прочность зависит от размеров, формы, состояния поверхности, температуры, степени отжига, химического состава, наличия инородных включений, условий испытания. Отрицательное влияние на предел прочности стекла при изгибе оказывают остаточные напряжения, связанные с качеством отжига, инородные включения, свиля, расположенные вблизи поверхности, а также неровности кромок листов.

На механические свойства флоат-стекла большое влияние оказывают соотношение шихты и боя [17] и условия формования листового стекла [18]. При увеличении боя до 40 – 45 % ухудшаются механические свойства готовой продукции. Увеличиваются потери стекла при переработке, транспортировке, а также в процессе эксплуатации. Авторы работы [17] связывают ухудшение механических свойств с нарушением однородности стекломассы из-за трудной смешиваемости с большим количеством боя. Температурный режим и состав защитной атмосферы ванны с расплавом влияют на прочность стекла при изгибе и на микротвердость [18]. С уменьшением содержания водорода в защитной атмосфере уменьшается прочность верхней поверхности формуемой ленты и возрастает микротвердость обеих поверхностей. Увеличение температуры стекломассы в процессе формования приводит к повышению микротвердости и сопротивляемости стекла действию абразивных частиц. По мнению авторов работы [19], из более горячей стекломассы формуется поверхность стекла с менее опасными дефектами, возрастает химическая однородность состава стекломассы, снижается роль процессов поверхностного натяжения при формировании новой поверхности раздела фаз.

Теплопроводность является важнейшим технологическим свойством стекла, оказывающим влияние на технологический процесс его производства. По уменьшению влияния на теплопроводность стеклообразующие окислы располагаются в следующем порядке: MgO , Na_2O , CaO , Al_2O_3 , SiO_2 . Низкая теплопроводность обуславливает особый характер нагрева и

охлаждения стекла, при которых в стекле создается большая разность температур между внутренними и внешними его слоями. К красящим окислам, поглощающим тепловые лучи, относятся прежде всего окислы железа, особенно находящиеся в закисной форме. Колебания содержания окислов железа в стекле за счет изменения теплопроводности стекломассы приводят к нарушению процесса стекловарения и уменьшению выработки листового стекла. Технологический регламент ограничивает содержание окислов железа в листовом стекле 0,08 – 0,13 % по массе.

Теплоемкость листового стекла наряду с теплопроводностью определяет скорость нагрева и охлаждения стекла. Используют эти величины при расчете стекловаренных и отжигательных печей. По убыванию степени влияния на теплопроводность стеклообразующие окислы располагаются в следующем порядке: Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , CaO .

Из ОПТИЧЕСКИХ свойств для листового стекла представляют наибольший интерес коэффициент светопропускания и двойное лучепреломление. Светопропускание для листовых прозрачных стекол больше 0,84, но меньше единицы, поскольку часть светового потока отражается от поверхностей, а другая часть поглощается самим стеклом. Поглощение света стеклами зависит от вида и концентрации содержащихся в нем красителей, а также от толщины листа. В бесцветных листовых стеклах понижение светопропускания вызывается наличием в их составе окислов железа, вводимых в виде нежелательных примесей с сырьевыми материалами. Окислы железа присутствуют в двух формах – закисной и окисной. Их соотношение зависит от условий варки и наличия в шихте восстановителей или окислителей. Интенсивность поглощения световых лучей закисным железом приблизительно в 10 раз больше, чем окисным.

Двойное лучепреломление в стекле возникает под воздействием внешних нагрузок или при наличии в нем остаточных напряжений в результате неудовлетворительного отжига. Луч света, входящий в пластину с неодинаковыми внутренними напряжениями, разлагается на два луча. Луч, направленный в сторону наибольших растягивающих усилий, имеет большую скорость, чем другой, направленный в сторону меньших растягивающих усилий. По разности скорости хода указанных лучей, отнесенной к единице пути, судят о качестве отжига.

ХИМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ листового стекла имеет значение главным образом для сохранения качества его поверхности в условиях транспортирования и хранения. Увеличение содержания щелочных оксидов снижает химическую устойчивость листового стекла. В работе [20] показано влияние состава защитной атмосферы ванны с расплавом олова на водостойкость поверхности флоат-стекла. Получено увеличение водостойкости стекла при содержании водорода в защитной атмосфере 2,7 – 6 %, температуре стекломассы в выработочном канале 1114 – 1120 °С.

Зависимость свойств стекол от химического состава изучена достаточно полно. Наиболее значительные результаты в этом направлении получены Деминой Л.И., Аппеном А.А., Бартневым Г.М., Вильнером Д.Е., Ильиной О.А., Тыкачинским И.Д. и др. Методы расчета физических свойств стекол, разработанные А.А. Аппеном и Л.И. Деминой, в основе которых лежат парциальные факторы свойств окислов в стеклах различных составов, позволяют рассчитать по составу значение свойств получаемых стекол.

В 1964 году И. Д. Тыкачинский предложил метод проектирования составов стекол с заранее заданными значениями свойств, основанный на представлении о сложных многокомпонентных стеклах как взаимных растворах стекол – компонентов с известными значениями свойств [21, 22].

Аналізу влияния технологического режима варки, формования ленты стекла и отжига на свойства стекла посвящены работы Н.А. Панковой, В.Ф. Солинова, В.Л. Миронова, В.Е. Копелева, В.И. Шелюбского и многих других авторов. В этих работах авторы исследуют влияние технологического режима на качество вырабатываемого стекла, выдают рекомендации по ведению процесса варки-выработки.

Изучению влияния технологического режима стекловарения, формования ленты стекла и отжига на свойства стекла, вид и содержание пороков посвящены работы ряда исследователей. В работах Панковой Н.А. исследована зависимость оптических свойств и пороков вырабатываемого стекла от режимов стекловарения и формования ленты стекла. Термомеханические свойства флоат-стекла изучены Солиновым В.Ф. Работы Лалыкина Н.В., Мазурина О.В., Миронова В.Л., Покрасс Б.И., Уманского С.Э. и др. посвящены изучению влияния процесса отжига на свойства листового стекла.

Как известно, свойства листового стекла зависят не только от его химического состава, но и от режима варки-выработки. При изучении свойств и содержания пороков в стекле необходимо совместно рассматривать влияние химического состава стекла, режима стекловарения, формирования ленты стекла и режима отжига [10].

Качество листового стекла регламентируется техническими условиями "Стекло листовое» ГОСТ 111-2002, где в общих технических требованиях приводятся характеристики листового стекла, а также справочные значения основных физико-механических характеристик (табл. 1.11).

Таблица 1.11

Основные физико-механические характеристики листового стекла

Показатель	Значение
Плотность стекла (при 18 ⁰ С)	2500 кг/м ³
Прочность на сжатие	700-900 МПа
Прочность на растяжение	30 МПа
Прочность на изгиб	15 МПа
Теплопроводность	1,0 Вт/(м·К)
Модуль упругости (Модуль Юнга)	7·10 ¹⁰ Па
Коэффициент Пуассона	0,2
Температурный коэффициент линейного расширения (в интервале температур от 20 до 300 ⁰ С)	9,0·10 ⁻⁶ К ⁻¹
Теплопоглощающая способность	720 Дж/(кг·К)
Температура размягчения	600 ⁰ С
Твердость по шкале Муна	6 единиц
Коэффициент теплопроводности	5,8 Вт/(м ² ·К)
Коэффициент преломления света	1,5
Коэффициент направленного отражения света	0,08

Указанные характеристики стекла обеспечиваются принятым на заводе технологическим процессом производства стекла, который определяется стандартом предприятия. Стандарт предусматривает непрерывный контроль геометрических параметров ленты, химического состава и свойств вырабатываемого листового стекла, учет пороков в стекле, контроль теплового, гидравлического режимов процесса варки-выработки и анализ состава поступающей шихты. Основными показателями являются химический состав стекла, плотность,

температурный коэффициент линейного расширения зеркального стекла, однородность стекла, коэффициент светопропускания, содержание закиси железа в стекле, петрографический контроль локальных пороков стекла, контроль свильности по эталонам, остаточных торцовых напряжений в стекле.

Основными задачами текущего контроля являются предупреждение брака в производственном процессе, оценка состояния технологического процесса, сбор информации для выработки предупреждающих управляющих воздействий по коррекции режима варки-выработки, организации резки и раскроя ленты стекла на заданные форматы.

Возросшие требования к стеклу, предназначенному для изготовления зеркал, изделий остекления транспортных средств, требуют использования совершенных средств контроля с высокой разрешающей способностью выявления локальных и протяженных дефектов, позволяющих исключить субъективизм в оценке качества стекла. В последние годы разработан ряд автоматических лазерных устройств для обнаружения пороков, которые позволяют вводить информацию о пороках в ЭВМ для последующей обработки. Контактные методы используют при измерении геометрических параметров движущейся ленты стекла. К числу их относятся толщиномеры стекла ТС-В, ТСМ-1 [15]. Перспективными являются устройства контроля листового полированного стекла, использующие интерференционные методы. В этих устройствах используется принцип нарушения регулярности интерференционной картины при наличии в контролируемом образце дефектов, приводящих к нарушению геометрии поверхности стекла (полосность, волнистость, пороки размером 0,1 мм и более) [17].

Контроль геометрических размеров стекла осуществляется вручную с помощью микрометра и мерной линейки. Оптические искажения, коэффициент светопропускания, остаточные торцовые напряжения в стекле, локальные пороки стекла, температурный коэффициент линейного расширения измеряются на специализированных измерительных установках в контрольной испытательной станции (КИС). Химический состав, плотность, однородность стекла, содержание закиси железа в стекле, коэффициент избытка воздуха на горелках стекловаренной печи контролируются центральной заводской лабораторией (ЦЗЛ). Виды пороков в стекле, их количество подсчитывают вручную. В табл. 1.12 для примера приведен фрагмент карты контроля технологического процесса производства

полированного стекла флоат-способом. Из таблицы видна невысокая частота контроля – не чаще одного раза в смену. По большинству показателей контроль проводится один раз в сутки, а по некоторым показателям – один раз в неделю и даже реже – два раза в месяц.

Таблица 1.12

Контроль технологического процесса варки-выработки стекла флоат-способом

Контролируемый показатель стекла	Значение	Метод контроля	Периодичность	Контр. служба
1. Химический состав	по СТП	химический анализ	1 раз в неделю	ЦЗЛ
2. Плотность, г/см ³	изменение $\leq 5 \cdot 10^{-4}$	метод свободного осаждения	1 раз в сутки	ЦЗЛ
3. Температурный коэффициент линейного расширения зеркального стекла, К ⁻¹	$(8,5 \pm 2) \cdot 10^{-7}$	дилатометр ДВК-2	2 раза в месяц	ЦЗЛ
4. Однородность, °С	1,4 – 3,5	метод центрифугирования	1 раз в неделю	ЦЗЛ
5. Коэффициент светопропускания в расчете на 1 см толщины, %	≥ 84	фотометр ИФТО-1	1 раз в неделю	КИС
6. Содержание закиси железа, %	$\leq 0,033$	прибор ШЕЛ-72	1 раз в сутки	ЦЗЛ
7. Петрографический контроль по определению локальных пороков		микроскоп МИН-8	1 раз в сутки	КИС
8. Сравнительный контроль свильности по эталонам	по СТП	сравнение с эталонами	3 раза в сутки	КИС
9. Остаточные торцовые напряжения, нм/см	≤ 10	полярископ поляриметр ПКС-125	1 раз в смену	КИС
10. Содержание олова	по СТП		1 раз в сутки	ЦЗЛ
11. Состав шихты	по СТП	анализы	1 раз в сутки	ЦЗЛ
12. Коэффициент избытка воздуха на первых парах горелок	1,03 – 1,30	газоанализатор ГХП	1 раз в неделю	ЦЗЛ

Неоперативность контроля технологического процесса варки-выработки по основным показателям свойств вырабатываемого стекла, ручной контроль содержания пороков в вырабатываемом стекле затрудняют решение задачи оперативного управления качеством и своевременного принятия решения по коррекции режима работы технологического оборудования. Этим можно объяснить достаточно большой отход стекла при раскросе ленты на листы требуемых форматов. По литературным данным отходы могут достигать 10 процентов [23], что приводит к невыпуску около одного миллиона квадратных метров стекла в год с каждой флоат-линии. Большие потери стекла обосновывают важность непрерывного контроля показателей основных свойств стекла и содержащихся в нем пороков. Внедрение компьютеров в сферу управления технологическими процессами позволяет успешно решать поставленную задачу. Использование математических моделей в качестве датчика состояния объекта управления позволяет вести непрерывный контроль за качеством вырабатываемого флоат-стекла и вырабатывать предваряющие управляющие воздействия.

ГЛАВА 2

СТАНДАРТИЗАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

2.1. Основные принципы построения современных систем управления качеством продукции

В 70 – 80-х годах 20-го века ученые и специалисты многих стран пришли к выводу, что качество не может быть гарантировано только путем контроля готовой продукции. Оно должно обеспечиваться гораздо раньше – в процессе изучения требований рынка, на стадии проектных, конструкторских разработок, при выборе поставщиков комплектующих изделий и материалов, на всех стадиях производства и, конечно при реализации продукции, ее техническом обслуживании у потребителя и утилизации после использования [2]. Такой комплексный подход обеспечивает создание замкнутого процесса, который начинается с определения потребностей рынка и включает в себя все фазы совершенствования выпускаемой продукции, подготовку производства, изготовление, реализацию и послепродажное обслуживание на основе эффективной системы обратной связи и планирования, учитывающего конъюнктуру рынка, при минимальных расходах на обеспечение качества. Таким образом, обеспечение качества продукции складывается из процедур обеспечения качества на каждой стадии жизненного цикла продукции.

Способность предприятия достигать своих целей, обеспечивая конкурентоспособность выпускаемой продукции, определяется действующей на нем системой организации и управления – системой менеджмента качества. Система менеджмента качества представляет совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов для разработки политики и целей в области качества и достижения этих целей посредством скоординированной деятельности по выбору ее направления и управлению организацией применительно к качеству [24].

Мировой опыт сформировал общие признаки действующих систем управления качеством, принципы и методы. В настоящее время можно выделить три уровня систем управления качеством, имеющие некоторые концептуальные различия:

- системы, соответствующие требованиям стандартов ИСО серии 9000;
- общефирменные системы управления качеством;
- системы, соответствующие критериям национальных или международных (региональных) премий дипломов по качеству.

Системы качества, построенные на основе стандартов серии ИСО 9000, будут рассматриваться в последующих параграфах. Здесь мы ознакомимся с общефирменными системами и системами, соответствующими критериям национальных премий дипломов по качеству.

Для ряда отраслей, где высоки требования к качеству, безопасности и экологичности, требования стандартов ИСО 9000 являются недостаточными [2]. Это касается автомобильной индустрии, которая строит свою промышленную политику. Такая промышленная политика сконцентрирована в стандарте QS-9000 и связанных с ним документах. Стандарт QS-9000 разработан детройтской «большой тройкой»: «Крайслер», «Форд», «Дженерал Моторс», к которым присоединились крупнейшие производители грузовиков: «Фрайт-Лайнер», Мэк-Тракс», «Нэвистар интернэйшнл», «Паккар», «Вольво», «Джи Эм Хеви Трак». Базируясь на требованиях ИСО 9000, эти компании дополнили требования указанного стандарта общепромышленными требованиями и специальными требованиями каждой компании.

Стандарт QS-9000 «Требования к системам качества» определяет три группы требований к системам качества: требования, основанные на ИСО 9000, отраслевые требования и специфические требования потребителей.

Документация системы QS-9000 включает в себя:

- Промышленный стандарт QS-9000. Требования к системам качества;
- Процедуру PPAP «Процесс согласования производства части»;
- QSA «Оценка систем качества» ;
- SPS «Статистическое управление процессами» ;

- MSA «Анализ измерительных систем» ;
- APQP «Планирование качества перспективной продукции» ;
- FMEA «Анализ видов и последствий отказов» ;
- Перечень документов, руководств и процедур отдельных компаний-потребителей, не ставших согласованными руководствами и документами.

Процедура PPAP предназначена для сдерживания неподготовленного производства, чтобы свести к минимуму потери. В документах описываются ситуации, в которых всегда требуется предварительное согласование с потребителем до начала производства. Результатом применения документа является статус поставщика: одобрение производства, временное отклонение или отклонение.

В документе QSA приводится список области применения системы качества. В фазы оценки включаются: анализ документации, проверка на месте эффективности внедрения системы качества, анализ и отчет по результатам первых двух фаз соответствия поставке требованиям QS-9000.

Руководство APQP предназначено для разработки плана качества, который призван обеспечить удовлетворение потребителя создаваемой продукции или услугами. Важным условием успешного планирования качества является создание команды из представителей инженерных и производственных служб, служб качества, закупок, продаж, обслуживания, субпоставщиков и потребителей.

SPS содержит подробное изложение основ статистического управления процессами, понятия изменчивости, интерпретации обычных и особых причин изменчивости. Основными целями SPS являются:

- предупреждение несоответствий и анализ их причин для планирования эффективных действий в отношении процесса или системы;
- анализ и обеспечение управляемости процессами и возможность удовлетворять требования потребителей;
- непрерывное совершенствование процессов.

Руководство FMEA описывает процедуры применительно к процессу проектирования конструкции и отдельно к процессу разработки технологии.

Руководство MSA излагает проблемы обеспечения достоверности данных, используемых при оценке продукции и процессов. Излагаются методы оценки приемлемости измерительных систем.

Комплект документов QS-9000 представляет строгую и вместе с тем доброжелательную систему требований потребителей – сборщиков автомобилей. Он рассчитан на отзывчивых, добросовестных поставщиков, готовых идти за потребителем в достижении наивысшего качества с минимальными затратами. Система QS-9000 связывает в одну цепочку поставщиков, потребителей-сборщиков, и конечных потребителей автомобилей.

Промышленники развитых стран все чаще рассматривают стандарты ИСО 9000 как необходимую, но недостаточную основу современных и будущих систем качества. Все большее значение в промышленности развитых стран (США, Германии, Великобритании, Японии и др.) придают идеологии всеобщего управления качеством Total Quality Management (TQM) [2, 4].

Цель TQM – это достижение более высокого качества продукции и услуг. Под более высоким качеством японская концепция предусматривает четыре уровня качества.

Первый уровень – оценивается как соответствие или несоответствие требованиям стандарта. Инструментами служат статистический контроль качества и организационная структура производства.

Второй уровень – продукция должна не только соответствовать стандарту, но и удовлетворять эксплуатационным требованиям, в этом случае она будет пользоваться спросом на рынке. Все подразделения предприятия должны работать как единое целое, о качестве должны заботиться не только производственные отделы, но и службы маркетинга, разработок, сервиса, контроля качества, сбыта и т. д.

Третий уровень – высокое качество при низкой цене. Для того чтобы добиться таких результатов, следует изменить всю систему работы. Единственный путь достижения низкой стоимости при высоком качестве – бездефектное производство. Создание такого производства зависит от сознательности рабочих и их усилий по обеспечению качества. Если стремление к улучшению качества организовано на каждой ступени производства, то дефекты, переделки, отходы сводятся к минимуму. Это и есть «контроль процесса» персоналом фирмы.

Четвертый уровень – соответствие скрытым потребностям. В богатых странах (США, Японии, Великобритании и др.) рынок наводнен продукцией, которая мало отличается по уровню качества и удовлетворяет все явные требования покупателя. Поэтому преимущество при сбыте получает продукция, учитывающая скрытые потребности потребителя.

Концепция TQM базируется на принципах, опирающихся на международный опыт и теоретические исследования. Основными из них являются следующие принципы [2, 9]:

- 1) ориентация на потребителя;
- 2) роль руководства;
- 3) вовлечение сотрудников в деятельность по управлению качеством;
- 4) процессный подход;
- 5) системный подход к управлению;
- 6) постоянное совершенствование;
- 7) принятие решения, основанного на фактах;
- 8) взаимовыгодные отношения с поставщиками и др.

Эффективность TQM зависит от следующих основных условий:

- высшее должностное лицо на предприятии энергично выступает за повышение качества;
- инвестиции вкладываются в людей, а не только в оборудование;
- организационные структуры создаются или преобразуются под всеобщее управление качеством.

TQM реализуется на предприятии благодаря применению набора приемов и средств, к которым относятся: управление качеством, процессами, персоналом, ресурсами. В мировой практике применяются различные методы и средства, позволяющие добиваться поставленных целей. Это методы обеспечения качества, стимулирования качества и методы контроля результатов работы по качеству. Наряду с указанными методами используются кружки качества, статистические методы и методы самоконтроля и самооценки, которые могут решать отдельные проблемы качества и могут быть средством стимулирования творческой активности всех сотрудников предприятия.

Все больше в управлении качеством учитывается влияние культуры предприятия. Речь идет о психологическом климате на предприятии и его влиянии на все процессы и в конечном итоге на прибыль. Непрерывное развитие культуры приводит к повышению качества производимой продукции.

Следует отметить, что концепция TQM и концепция ИСО 9000 взаимно дополняют друг друга [2]. Стандарты ИСО устанавливают определенный минимум требований, который должен соблюдаться в отношениях между производителем и потребителем продукции. Концепция TQM предназначена только для внутренних нужд производителя. «Мостом» для перехода от концепции стандартов ИСО к концепции TQM служит стандарт ИСО 9004-1. Он содержит основные рекомендации по всеобщему управлению качеством.

Рассмотрим системы, соответствующие критериям национальных или региональных премий по качеству [2, 9]. Премии качества широко используются во всем мире – премия Деминга в Японии, премия Малкольма Болдриджа в США, Европейская премия качества в странах Европы, премия Правительства Российской Федерации в России и др. Критерии премий по качеству учитывают все передовое, что имеется в системах по ИСО 9000 и в TQM. В большей мере они обращены к человеческому фактору.

Премия Правительства Российской Федерации утверждена в 1996 г. и присуждается ежегодно на конкурсной основе. В рамках этого конкурса организации оцениваются по девяти критериям:

- 1) роль руководства в организации работ – 100 баллов;
- 2) использование потенциала персонала – 120 баллов;
- 3) планирование в области качества – 100 баллов;
- 4) рациональное использование ресурсов – 100 баллов;
- 5) управление технологическими процессами – 130 баллов;
- 6) удовлетворенность персонала работой в организации – 90 баллов;
- 7) удовлетворенность потребителей – 180 баллов;
- 8) результаты деятельности организации – 120 баллов;
- 9) безопасность продукции для общества – 60 баллов.

Первые пять критериев оценивают деятельность организации в области качества (максимально 550 баллов), а последние четыре – результаты (максимально 450 баллов). Такое соотношение говорит о стремлении активизировать работу российских организаций в области совершенствования внутренней деятельности по качеству, в то время как Европейская премия оценивает обе стороны деятельности одинаково.

Премии качества привлекательны своей престижностью. Они утверждают лидерство организации в области управления качеством, умелое использование которых может повысить конкурентоспособность продукции и самого предприятия.

2.2. Международные стандарты на системы менеджмента качества серии ИСО 9000

Международный опыт управления качеством обобщен в семействе международного стандарта серии ИСО 9000:2000, включающем в себя стандарты:

- ИСО 9000 «Система менеджмента качества. Основные положения и терминология»;
- ИСО 9001 «Системы менеджмента качества. Требования»;
- ИСО 9004 «Системы менеджмента качества. Руководство по улучшению»;
- ИСО 19011 «Руководство по аудиту систем менеджмента качества и экологического менеджмента»;
- Дополнительные брошюры и технические спецификации.

Основные изменения третьей редакции стандартов ИСО 9000:2000 по сравнению с ИСО 9000:1994 г. состоят в следующем [24]:

- 1) уменьшилось общее число стандартов;
- 2) изменения в стандарте ИСО 9000;
- 3) изменения в стандарте ИСО 10011;
- 4) возросла совместимость с ИСО 14000;
- 5) совместная пара ИСО 9001 и ИСО 9004;
- 6) изменения в ИСО 9004;
- 7) принципы менеджмента качества;
- 8) процессный подход;
- 9) удовлетворенность потребителей;
- 10) постоянное улучшение;
- 11) другие изменения.

Стандарт ИСО 9000 обосновывает необходимость внедрения систем менеджмента качества (СМК), которые могут содействовать организациям в повышении удовлетворенности потребителей. Поскольку потребности и

ожидания потребителей меняются, организации также испытывают давление, обусловленное конкуренцией и техническим прогрессом, и должны постоянно совершенствовать свою продукцию и свои процессы.

Системный подход к менеджменту качества побуждает организации анализировать требования потребителей, определять процессы, способствующие получению продукции, приемлемой для потребителей, а также поддерживать эти процессы в управляемом состоянии. СМК может быть основой постоянного улучшения с целью повышения удовлетворенности, как потребителей, так и других заинтересованных сторон.

Требования к СМК установлены в ИСО 9001:2000, они являются общими и применяются к организациям в любых секторах промышленности или экономики не зависимо от категории продукции.

Требования к продукции устанавливаются потребителями или организациями. Они могут содержаться в контрактах, технических условиях, стандартах на продукцию и т. п.

Подход к разработке и внедрению СМК состоит из нескольких ступеней, составляющих цикл Plan-Do-Check-Action (PDCA): планирование деятельности – деятельность по реализации плана – контроль – корректирующие действия по результатам контроля и включающие в себя:

- 1) установление требований потребителей и других заинтересованных сторон (P);
- 2) разработку политики и целей организации в области качества (P);
- 3) определение процессов и ответственности, необходимых для достижения целей в области качества (P)
- 4) определение необходимых ресурсов и обеспечение ими достижения в области качества (P);
- 5) разработку методов для измерения результативности и эффективности каждого процесса (P);
- 6) обеспечение функционирования процессов СМК (D);
- 7) проведение измерений процессов и применение результатов этих измерений для определения результативности и эффективности каждого процесса (C);
- 8) определение средств, необходимых для предупреждения несоответствий и устранение их причин (A);
- 9) разработку и применения процесса для постоянного улучшения СМК (A);

Такой подход применяется для поддержания в рабочем состоянии и улучшения имеющейся СМК.

Для эффективного и результативного функционирования организации она должна идентифицировать и управлять многочисленными взаимосвязанными и взаимодействующими процессами. СМК организации строится с использованием процессного подхода, модель которого показана на рис. 2.1.

Отличительной особенностью стандарта ИСО 9001 является то, что он устанавливает степень ответственности руководства организации за качество. Руководство предприятия отвечает за разработку политики в области качества, за создание, внедрение и функционирование системы управления качеством. Политика в области качества согласуется с общей политикой организации и обеспечивает основу для постановки целей в области качества.

Принципы менеджмента качества, изложенные в стандарте ИСО 9001, могут служить основой для разработки политики в области качества. Восемь принципов менеджмента качества определены для того, чтобы высшее руководство могло руководствоваться ими с целью улучшения деятельности организации:

- 1) ориентация на потребителя;
- 2) роль руководства;
- 3) вовлечение работников;
- 4) процессный подход;
- 5) системный подход к менеджменту;
- 6) постоянное улучшение;
- 7) принятие решений, основанных на фактах;
- 8) взаимовыгодные отношения с поставщиками.

С помощью лидерства и реальных действий высшее руководство может создавать обстановку, способствующую полному вовлечению работников и эффективной работе СМК. Принципы менеджмента качества могут использоваться высшим руководством как основа для выполнения своей роли по следующим направлениям:

- 1) разработка и поддержание политики и целей организации в области качества;
- 2) популяризация политики и целей в области качества во всей организации для повышения осознания, мотивации и вовлеченности персонала;

- 3) обеспечение ориентации на требования потребителей во всей организации;
- 4) обеспечение внедрения соответствующих процессов, позволяющих выполнять требования потребителей и других заинтересованных сторон и достигать целей в области качества;
- 5) обеспечение разработки, внедрения и поддержания в рабочем состоянии эффективной СМК для достижения этих целей в области качества;
- 6) обеспечение необходимыми ресурсами;
- 7) периодическое проведение анализа СМК;
- 8) принятие решений в отношении политики и целей в области качества;
- 9) принятии решений по мерам улучшения СМК.

Стандарт уделяет большое значение документации, которая дает возможность передавать содержание и последовательность действий. Ее применение способствует: достижению соответствия требованиям потребителя и улучшению качества; обеспечению соответствующей подготовки кадров; повторяемости и прослеживаемости; получению объективных доказательств; оцениванию эффективности и постоянной пригодности СМК.

Каждая организация сама определяет объем необходимой документации и её носители. Перспективным является использование электронных форм документов и организация электронного документооборота в СМК.

Принципы менеджмента предусматривают периодическое проведение анализа СМК. Оценка СМК может различаться по области применения и включать такие виды деятельности, как аудит, анализ СМК, самооценку. При оценке СМК необходимо задавать четыре основных вопроса в отношении каждого оцениваемого процесса:

- 1) выявлен и определен ли соответствующим образом процесс?
- 2) распределена ли ответственность?
- 3) внедрены и поддерживаются ли в рабочем состоянии процедуры?
- 4) эффективен ли процесс в достижении требуемых результатов?

Ответы на приведенные вопросы позволяют определить результаты оценивания.

Стандарт ИСО 9000 предусматривает постоянное улучшение СМК. Целью постоянного улучшения является повышение удовлетворенности потребителей и других заинтересованных сторон. Действия по улучшению включают:

- анализ и оценку существующего положения для определения областей улучшения;
- установление целей улучшения;
- поиск возможных решений для достижения целей;
- оценивание и выбор решений;
- измерение, проверку, анализ и оценку результатов выполнения для установления того, достигнуты ли цели;
- оформление изменений.

Результаты анализируются с целью установления дальнейших возможностей улучшения.

Особое значение придается статистическим методам, которые могут помочь организации в понимании изменчивости при решении проблем повышения результативности и эффективности. Изменчивость можно заметить на различных стадиях жизненного цикла продукции от исследования рынка до обслуживания потребителей и утилизации. Статистический анализ данных может помочь лучше понять природу, масштабы и причины изменчивости, способствуя решению и предупреждению проблем, которые могут быть результатом выявленной изменчивости.

СМК является частью системы менеджмента организации. Она может быть интегрирована с другими системами в единую систему менеджмента организации. Это может облегчить планирование, выделение ресурсов, определение дополнительных мер по повышению эффективности, деятельности организации.

Стандарт ИСО 9001:2000 представляет переработанный вариант трех стандартов 1994 года: ИСО 9001, ИСО 9002, ИСО 9003. Принципы менеджмента качества, провозглашенные в ИСО 9000:2000 и ИСО 9004:2000, были учтены при разработке стандарта ИСО 9001:2000. Стандарт ИСО 9001:2000 используется внутренними и внешними сторонами для оценки способности организации удовлетворить требования потребителя. Стандарт предназначен для сертификации систем качества, излагает минимальные требования к организации, обеспечивающие достижение

удовлетворенности заказчика, в то время как ИСО 9004:2000 служит для совершенствования деятельности в организации. ИСО 9004 ориентирует организацию на учет и максимально возможное удовлетворение требований всех заинтересованных сторон: потребителей, владельцев бизнеса, персонала, поставщиков и общества в целом.

Стандарт ИСО 9001 включает следующие разделы:

- 0) введение;
- 1) область применения;
- 2) нормативные ссылки;
- 3) термины и определения;
- 4) система менеджмента качества;
- 5) ответственность руководства;
- 6) менеджмент ресурсов;
- 7) выпуск продукции;
- 8) измерения, анализ и улучшения.

Стандарт ИСО 9001 предусматривает процессный подход при разработке, внедрении и улучшении результативности СМК с целью увеличения удовлетворенности потребителя путем выполнения его требований. Преимущества процессного подхода состоят в обеспечении связи между отдельными процессами в рамках системы процессов, а также в их комбинации и взаимодействии. Использование процессного подхода позволяет подчеркнуть важность таких факторов, как:

- понимание и выполнение требований;
- необходимость рассмотрения процессов с точки зрения добавленной ценности;
- достижение результативности процессов;
- постоянное улучшение процессов, основанное на анализе данных полученных в результате измерений.

Модель процессно-ориентированной СМК в укрупненном виде представлена на рис. 2.1. В методических материалах [24] приводится практическая методика внедрения процессного подхода.

Стандарт ИСО 9001 устанавливает степень ответственности руководства организации за качество. Руководство отвечает за разработку Политики в области качества, за создание, внедрение и функционирование системы управления качеством.

Организация должна определять и выделять ресурсы для внедрения и поддержания в рабочем состоянии СМК и непрерывного улучшения ее результативности, добиваться в большей степени удовлетворенности потребителя, исходя из предъявляемых им требований. Персонал, выполняющий работу, влияющую на качество, должен быть компетентным на основе соответствующего образования, подготовки, навыков и опыта. Предприятие должно обеспечить и поддерживать в рабочем состоянии инфраструктуру и осуществлять менеджмент производственной среды для того, чтобы обеспечить соответствие требований к продукции.

Организация должна планировать и разрабатывать процессы, необходимые для выпуска продукции. При планировании организация должна определять:

- цели в области качества и требования к продукции;
- потребность в разработке процессов, документов, обеспечении ресурсами с учетом специфики продукции;
- потребность в верификации, валидации, мониторинге, контроле, испытаниях с учетом специфики и критерия приемки продукции;
- записи, необходимые для предоставления доказательств того, что процессы выпуска продукции и конечная продукция соответствует требованиям.

Организация должна анализировать требования, относящиеся к продукции, осуществлять мероприятия по поддержанию связи с потребителем, касающиеся информации о продукции, прохождения запросов, контрактов, обратной связи от потребителя, включая жалобы потребителя.

Планировать проектирование и разработку продукции, проводить систематический анализ выполняемых работ, управлять изменениями проектирования и разработок.

Организация должна обеспечить соответствие закупаемой продукции установленным требованиям на закупку, оценивать и выбирать поставщиков на основе их способности поставлять продукцию в соответствии с установленными требованиями.

Организация должна планировать и осуществлять производство продукции и обеспечивать обслуживание в управляемых условиях, которые включают:

- наличие информации, описывающей характеристики продукции;
- наличие рабочих инструкций;

- использование подходящего технологического оборудования;
- наличие и использование средств мониторинга и измерений;
- проведение мониторинга и измерений;
- осуществление деятельности по выпуску, поставке и техническому обслуживанию поставленной продукции.

Организация должна определять, какой мониторинг и какие измерения необходимо проводить, какие средства измерения необходимо использовать для обеспечения доказательства соответствия продукции установленным требованиям. При использовании компьютерного программного обеспечения должно быть подтверждение соответствия его предполагаемому применению.

Организация должна проводить внутренние аудиты в запланированные промежутки времени для того, чтобы определить, что СМК соответствует требованиям стандарта и поддерживается в рабочем состоянии.

Организация должна постоянно улучшать результативность СМК, руководствуясь политикой и целями в области качества, результатов аудита, анализа данных, корректирующих и предупреждающих действий и анализа со стороны руководства.

К поддерживающим стандартам семейства ИСО 9000:2000 относятся стандарты ИСО 10011, ИСО 10012, ИСО 10013.

Стандарты ИСО 10011 «Руководящие указания по проверке системы качества» в трех частях составляют нормативную базу для органов, осуществляющих проверку систем качества предприятия.

Стандарт ИСО 10012 определяет требования, гарантирующие качество измерительного оборудования.

Стандарт ИСО 10013 «Руководящие указания по разработке руководств по качеству» содержит рекомендации по составлению основного документа СМК – руководства по качеству.

Если система управления качеством соответствует требованиям стандартов ИСО, то потребителями это воспринимается как доказательство способности организации обеспечить выпуск продукции или оказание услуг требуемого уровня качества.

Российские стандарты серии ГОСТ Р ИСО 9000 соответствуют международным стандартам семейства ИСО 9000, поэтому приведенное описание стандартов можно отнести к отечественным ГОСТам «Системы менеджмента качества».

2.3. Система менеджмента качества производственного объединения «Полированное стекло» ОАО «Борский стекольный завод»

Эффективная, хорошо построенная СМК позволяет организации оптимизировать качество выпускаемой продукции с точки зрения уменьшения возможных рисков, снижения затрат и роста прибыли.

Основным документом при разработке и внедрении СМК является «Руководство по качеству», содержащее основные положения, Политику в области качества, организационную структуру, описание системы качества.

Опишем систему качества, применяемую в производственном объединении (ПО) «Полированное стекло» и во всех подразделениях ОАО «Борский стекольный завод», связанных производственными отношениями с ПО «Полированное стекло».

Система качества создана и внедрена как средство, обеспечивающее проведение Политики в области качества и достижение поставленных целей в области качества, и охватывает все этапы жизненного цикла полированного стекла (рис. 2.2).

Система качества ПО «Полированное стекло» построена на следующих принципах:

- соответствие требованиям международного стандарта ИСО 9001;
- сочетание экономических и административных методов управления;
- информационная обеспеченность управляющих воздействий.

При создании СМК и подготовке ее к сертификации были использованы следующие нормативные документы:

ГОСТ Р ИСО 9001-96 «Системы качества. Модель обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании»;

ИСО 8402:1994 «Управление качеством и обеспечение качества. Словарь»;

ИСО 9000-2:1994 «Общее руководство качеством и стандарты по обеспечению качества. Общие руководящие указания по применению ИСО 9001, ИСО 9002 и ИСО 9003»;

ИСО 9001:1994 «Системы качества. Модель обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании»;

ИСО 10013:1995 «Руководящие указания по разработке руководств по качеству»;

ИСО 9004-1:1994 «Управление качеством и элементы системы качества – часть 1. Руководящие указания».

Руководство ОАО «Борский стекольный завод» официально объявило политику организации в области качества (22.02.2002 г).

Руководство предприятия провозглашает своей *главной целью* полное удовлетворение потребителей на рынке стекла и изделий из него.

Управление качеством – главный рычаг в осуществлении стратегии предприятия: в кратчайшие сроки достичь конкурентоспособности с лучшими мировыми стекольными компаниями на Российском рынке.

Высшее руководство предприятия провозгласило следующие основные *принципы деятельности*:

- модернизация производства и внедрение передовых технологий – основа качества процессов и продукции;
- обеспечение стратегического преимущества над конкурентами, формирование рынка стекла в России и странах СНГ;
- проведение в жизнь стратегии и политики «Glaverbel», поддержание корпоративного духа группы;
- вовлеченность всего персонала в процесс постоянного улучшения путем совершенствования и развития систем обучения и поощрения;
- поддержание атмосферы сотрудничества между подразделениями, развитие межфункциональных команд;
- построение взаимовыгодных отношений с поставщиками, мотивация их к улучшению качества поставок;
- экологическая чистота производства и продукции – обязательны для нас;
- качество – основа сокращения затрат;
- совершенствование качества не имеет предела.



Рис. 2.2. Этапы жизненного цикла полированного стекла

Для решения принципов необходимо:

- успешно провести холодный ремонт и модернизацию оборудования первой линии полированного стекла;
- ввести в действие новое производство автомобильного триплекса;

- стать надежным поставщиком качественного автомобильного стекла для компании «FORD»;
- внедрить информационные системы автоматизированного учета финансовых средств производства продукции и материалов;
- разработать и внедрить системы менеджмента качества на основе требований международных стандартов ИСО серии 9000:2000 и систему экологического менеджмента на базе стандартов ИСО серии 14000;
- распространять действие существующей системы качества на наших поставщиков и диллеров;
- активно проводить кадровую политику на предприятии за счет обучения и постоянного повышения профессионализма сотрудников, использования различных систем мотивации персонала, развития социальных программ.

Руководство предприятия гарантирует обеспечение условий для реализации целей и политики в области качества каждым работником предприятия.

Политика в области качества реализуется посредством обеспечения качества, управления качеством и совершенствования качества.

Основными направлениями формирования Политики в области качества являются:

- обеспечение соответствия продукции установленным требованиям;
- ориентация на удовлетворение требований потребителя;
- расширение и завоевание новых рынков сбыта.

Распределение ответственности по формированию Политики в области качества приведено в табл. 2.1.

Система качества входит в общую систему управления предприятием. Организационная схема функционирования СМК ПО «Полированное стекло» ОАО «Борский стекольный завод» приведена на рис. 2.3.

Распределение ответственности за выполнение функций в системе обеспечения качества, полномочия, ответственность руководства по обеспечению качества отражаются в Руководстве.

Генеральный директор осуществляет общее руководство всеми направлениями деятельности завода, обеспечивает взаимодействие всех его структурных подразделений и служб, формирует Политику в области качества.

Таблица 2.1

Распределение ответственности по формированию политики
в области качества

Направление работ	Ответственное должностное лицо
Определение и подписание политики	Генеральный директор ОАО «БСЗ» Начальник производственного объединения «Полированное стекло»
Документальное оформление и представление	Начальник отдела управления качеством
Доведение Политики до всех работников	Руководители подразделений, координатор системы качества производственного объединения

Технический директор формирует и реализует техническую политику предприятия, является представителем руководства, отвечающим за разработку и функционирование системы качества.

Коммерческий директор отвечает за изучение требований потребителей, анализ и выполнение требований контрактов на поставку продукции.

Финансовый директор отвечает за финансовую политику предприятия, ориентированную на повышение эффективности и рентабельности производства.

Начальник производственного объединения (ПО) «Полированное стекло» формирует и реализует Политику в области качества в коллективе ПО, обеспечивает выпуск продукции, удовлетворяющей требованиям и запросам потребителей.

Директор по персоналу отвечает за качество подготовки и подбора персонала.

Начальник отдела управления качеством (ОУК) организует контроль за функционированием системы качества в подразделениях завода, координирует работы по совершенствованию системы качества, отвечает за подготовку отчетов для анализа эффективности функционирования системы качества со стороны руководства.

Технический директор, начальник ПО, начальник ОУК определяют потребности в ресурсах для разработки и функционирования и поддержания системы качества. Генеральный директор выделяет и распределяет ресурсы. Руководители и специалисты отвечают за выполнение функций в системе обеспечения качества в соответствии с возложенными на них обязанностями.

Все ответственные участки производственного процесса укомплектованы обученным и аттестованным персоналом, обладающим:

- необходимыми трудовыми навыками и знаниями требований к выполняемой деятельности;
- знанием нормативной, технической и отчетной документации, необходимой на рабочем месте.

Производственное, контрольное и испытательное оборудование соответствует требованиям технологических процессов.

Нормативная база расхода сырья, основных и вспомогательных материалов, топливно-энергетических ресурсов является основой для планирования их потребности. Требования к ресурсам определены в соответствующих документах.

Генеральный директор не реже двух раз в год анализирует систему качества, чтобы обеспечить ее постоянную пригодность, эффективность при удовлетворении требований стандарта, реализацию установленных Политикой в области качества задач.

Руководство по качеству, процедуры, стандарты предприятия, должностные и рабочие инструкции, методики описывают действующую систему качества. Структура документов системы качества представлена на рисунке 2.4.

Начальник ОУК является ответственным за документацию системы качества, её экспертизу, учет и актуализацию.

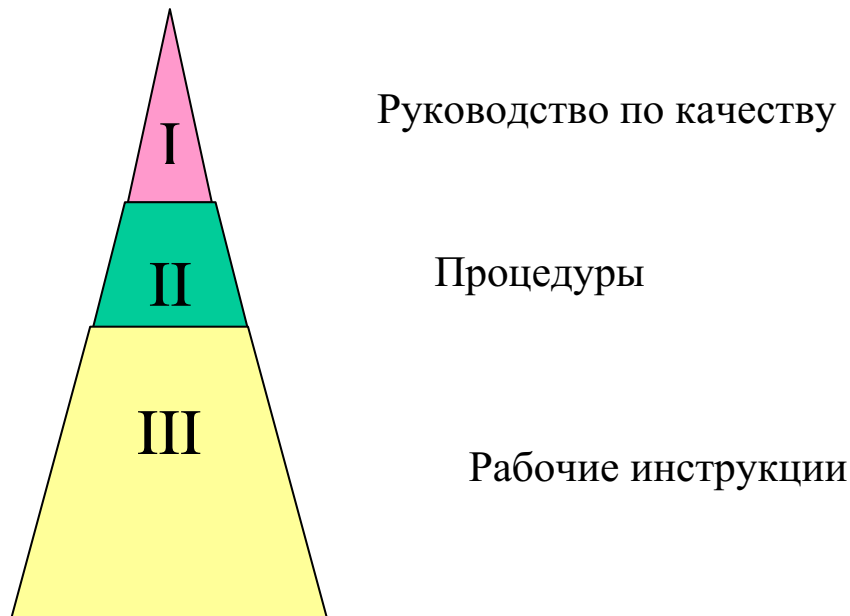


Рис. 2.4. Структура документов по качеству

На предприятии осуществляются действия по планированию качества: составляются планы качества и планы по улучшению качества.

Начальник ПО и начальник ОУК являются ответственными за планирование работ по качеству. Руководители подразделений несут ответственность за своевременное и эффективное выполнение планов по качеству в своих подразделениях.

Начальник ОУК и уполномоченный персонал являются ответственными за контроль выполнения планов по улучшению качества и программ качества.

На предприятии разработаны и поддерживаются в рабочем состоянии процедуры, обеспечивающие проведение анализа контракта и координацию этой работы. Коммерческий директор является ответственным за работу по анализу контракта.

На предприятии разработана процедура, в которой документировано управление проектированием и его проверки с целью обеспечения выполнения задания на проектирование. Технический директор координирует работы по проектированию. Главный конструктор является ответственным за работы по управлению проектированием.

Начальник ОУК несет ответственность за управление документами системы качества, включая документы внешнего происхождения. Руководитель бюро стандартизации и сертификации несет ответственность за учет и своевременную актуализацию документов с целью предотвращения использования недействительных и устаревших документов.

С целью обеспечения доступности соответствующих документов на всех участках, где проводятся работы, от которых зависит эффективное функционирование системы качества, руководители структурных подразделений своим распоряжением назначают ответственных по системе качества и уполномоченных по нормативной документации, которые осуществляют работы по управлению документами в своих подразделениях.

Начальник отдела закупок несет ответственность за закупку сырья, материалов, оборудования, соответствующих установленным требованиям, за соблюдение условий их хранения и выдачи в подразделениях.

Начальник производственного объединения является ответственным за выполнение требований по идентификации и прослеживаемости продукции. Зам. начальника по качеству является ответственным за применение методов по идентификации и прослеживаемости продукции в производстве. Существующая система идентификации обеспечивает возможность определения происхождения партий и единиц готовой продукции (блока).

Для проведения работ по идентификации и прослеживаемости продукции используются следующие данные:

- № вагона и ж/д накладной по отгрузке продукции;
- № блока;
- журнал сменных контролеров;
- журнал КИС (контрольно-испытательной станции);
- журналы операторов печи отжига, флоат-ванны и стекловаров;
- данные результатов контроля качества шихты и стекла ЦЗЛ.

Начальник ПО «Полированное стекло» отвечает за организацию производственного процесса в управляемых условиях, выпуск продукции запланированного качества, эксплуатацию и обслуживание оборудования, организацию безопасных условий труда, создание подходящей производственной среды и доставку продукции потребителям.

Коммерческий отдел производственного объединения отвечает за составление планов (спецификаций на изготовление продукции).

Технологические процессы производства полированного стекла на выбранном технологическом оборудовании, контроль и управление соответствующими параметрами процесса на всех этапах производства, способы контроля и испытаний продукции изложены и утверждены в соответствующих стандартах предприятия и инструкциях по работе.

Техническое состояние производственного оборудования в течение всего срока эксплуатации контролируется и поддерживается системой ППР. Ответственным за выполнение данной процедуры является начальник инженерной службы производственного объединения.

Технический директор является ответственным за организацию и обеспечение ресурсами контроля и испытаний продукции. Начальник производственного объединения «Полированное стекло» и начальник ЦЗЛ являются ответственными за проведение контроля и испытаний.

Весь комплекс работ по управлению контрольным, измерительным и испытательным оборудованием выполняет централизованная метрологическая служба – отдел главного метролога. Ответственным за выполнение этого комплекса работ является главный метролог.

Заместитель начальника производственного объединения «Полированное стекло» по качеству является ответственным за осуществление обозначения и регистрации результатов контроля. Статус контроля и испытаний указывается посредством маркировок, меток, специальных штампов.

Соответствие продукции установленным требованиям определяется:

- при входном контроле (ответственный – начальник ЦЗЛ);
- в процессе производства и при окончательном контроле (ответственный – заместитель начальника производственного объединения по качеству).

Начальник отдела закупок, начальник производственного объединения, начальник ЦЗЛ отвечают за проведение работ по управлению несоответствующей продукцией в процессах закупок, производства продукции и доставки её потребителям.

За выполнение работ по управлению несоответствующей продукцией при закупках несет ответственность начальник отдела закупок, в процессе производства, окончательном контроле, хранении, отгрузке продукции – зам. начальника производственного объединения «Полированное стекло» по качеству.

Выявление несоответствующей продукции производится при входном контроле закупаемой продукции, в процессе производства на участках контроля и резки стекла, при упаковке, передаче упакованной продукции на склад, при хранении и отгрузке продукции потребителям.

Руководители подразделений являются ответственными за принятие корректирующих и предупреждающих действий на своих участках.

В системе качества обеспечивается установление причин выявленных и потенциальных несоответствий, принятие корректирующих и предупреждающих действий и оценка их эффективности.

Начальники цеха холодного стекла, склада готовой продукции, являются ответственными за обеспечение качества при погрузо-разгрузочных работах, хранении, упаковке, поставке продукции. Ответственный персонал склада готовой продукции контролирует качество хранения готовой продукции перед её отгрузкой потребителям.

Заместитель начальника производственного объединения по качеству отвечает за то, что вся выявленная несоответствующая продукция будет изолирована, будут составлены соответствующие документы по управлению несоответствующей продукцией.

Поставка продукции производится в соответствии с договорами, заключенными с потребителями и в соответствии с утвержденными схемами загрузки продукции во все виды транспорта – полувагоны и автомобили.

Ответственным за управление системой регистрации данных о качестве является технический директор. Данные о качестве регистрируются с целью:

- подтверждения соответствия установленным требованиям к системе качества;
- предоставления доказательств и информации об эффективности функционирования системы качества.

К регистрируемым данным о качестве, требующим управления, относятся:

- результаты анализа со стороны руководства;
- отчеты об оценке качества;
- результаты анализа проекта;
- результаты анализа контракта;
- документы для регистрации результатов контроля и испытаний (журналы, акты, протоколы, отчеты и т. п.);

- результаты определения степени надежности поставщиков;
- акты внутренних проверок качества;
- отчеты о проведении корректирующих и предупреждающих мероприятий;
- результаты инспекционных проверок;
- отчеты о затратах на качество;
- документы о проверке внешними организациями и др.

Анализ регистрируемых данных о качестве является основанием для проведения корректирующих и предупреждающих действий и составления планов по качеству.

Начальник ОУК является ответственным за проведение внутренних проверок. Объектами проверок являются:

- качество продукции;
- производственные процессы;
- деятельность по управлению качеством.

Внутренние проверки проводятся с целью установления:

- соответствия системы качества требованиям ИСО 9001, ГОСТ Р ИСО 9001;
- эффективности применения и поддержания СМК в рабочем состоянии;

Директор по персоналу несет ответственность за подготовку, переподготовку и обучение персонала завода. Технический директор координирует работы по обучению персонала по качеству.

Начальник отдела управления качеством, координатор по системе качества производственного объединения «Полированное стекло» являются ответственными за разработку и реализацию планов по обучению персонала по качеству.

Планы профессиональной подготовки и переподготовки персонала производственного объединения «Полированное стекло» составляет и контролирует их выполнение начальник отдела по персоналу производственного объединения «Полированное стекло».

На предприятии существуют следующие виды обучения:

- подготовка новых рабочих;
- переподготовка рабочих;
- повышение квалификации;
- обучение вторым профессиям;

- обучение безопасным методам работы;
- обучение по качеству;
- обучение руководящих работников и специалистов на курсах целевого назначения и иностранного языка.

Коммерческий директор отвечает за работу по послепродажному обслуживанию продукции. Для этих целей создана дилерская сеть предприятия, через которую реализуется основная часть продукции. Предприятие контролирует процессы хранения, реализации и использования продукции у дилеров.

Не реже одного раза в год коммерческая служба проводит семинары для дилеров предприятия для обмена опытом работы и принятия корректирующих мероприятий по улучшению качества работы.

Ответственным за определение потребности в применении статистических методов является начальник ОУК. Потребность в применении статистических методов определяется:

- в процессе анализа контракта, если такие требования предъявлены потребителем;
- в процессе анализа системы качества со стороны руководства;
- на этапе планирования корректирующих и предупреждающих действий.

Результатом является перечень объектов для применения статистических методов, согласованный с руководителем подразделения. Выбор конкретных статистических методов основывается на информации о их назначении и сфере применения. Ответственным за информацию о назначении, сфере применения статистических методов и ее предоставление является руководитель бюро статистических методов.

Ответственным за внедрение и применение статистических методов является начальник производственного объединения «Полированное стекло».

2.4. Применение IDEF0-методологии для описания процессов системы менеджмента качества производственного объединения «Полированное стекло»

Принципиальным отличием новой версии стандартов ИСО серии 9000 является процессный подход к менеджменту, созданию и функционированию СМК. Это послужило основанием применения процессного

подхода к описанию действующей в ОАО «Борский стекольный завод» СМК ПО «Полированное стекло». Идея процессного подхода состоит в том, что функционирование СМК можно представить в виде сети взаимодействующих между собой процессов.

Получить адекватное описание процессов можно с помощью процедуры, называемой моделированием. Под термином «моделирование» понимается процесс создания точного, достаточного, лаконичного, удобного для восприятия и анализа описания системы как совокупности взаимодействующих компонентов и взаимосвязей между ними.

Функциональное моделирование процессов – это методология и программный инструментарий описания и анализа процессов, позволяющий представить всё множество процессов предприятия в виде набора диаграмм, отображающих все выполняемые функции, а также связывающие их материальные и информационные потоки и потребные ресурсы.

Для моделирования системы менеджмента качества в ПО «Полированное стекло» выбрана IDEF0 – методология [6]. В пользу применения методологии IDEF0 для описания и документирования процессов говорят не только её возможности решать задачи в сфере управления качеством, но и тот факт, что Госстандарт России принял рекомендации по стандартизации *P50. 1. 028-2001 «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования»* [37]. IDEF0 – модели наглядны и просты для понимания, но в то же время они формализуют представление о деятельности организации, помогая находить общий язык между разработчиками системы управления качеством и будущими пользователями этого описания.

Согласно IDEF0 модель системы менеджмента качества ПО «Полированное стекло» описывается с помощью диаграмм, текста и глоссария. Диаграммы определяют взаимосвязи процесса (блоки) с исполнителями и объектами, выступающими в качестве входов (исходные материальные, информационные, финансовые и др. ресурсы), управлениями (ГОСТы, СТП, инструктивные материалы, нормативные документы, приказы, распоряжения, ограничения на выполнение) и выходами (результаты выполнения процесса).

Диаграммы состоят из блоков и дуг. Блоки представляют действия (процессы, функции), а дуги – объекты, обрабатываемые СМК ПО «Полированное стекло». Функции преобразуют данные слева направо. Входная и

выходная стрелки показывают, что делает функция. Управление (входящая сверху стрелка) показывает, почему это делается, механизм (стрелка входящая в блок снизу) показывает, как именно это делается (рис. 2.5).

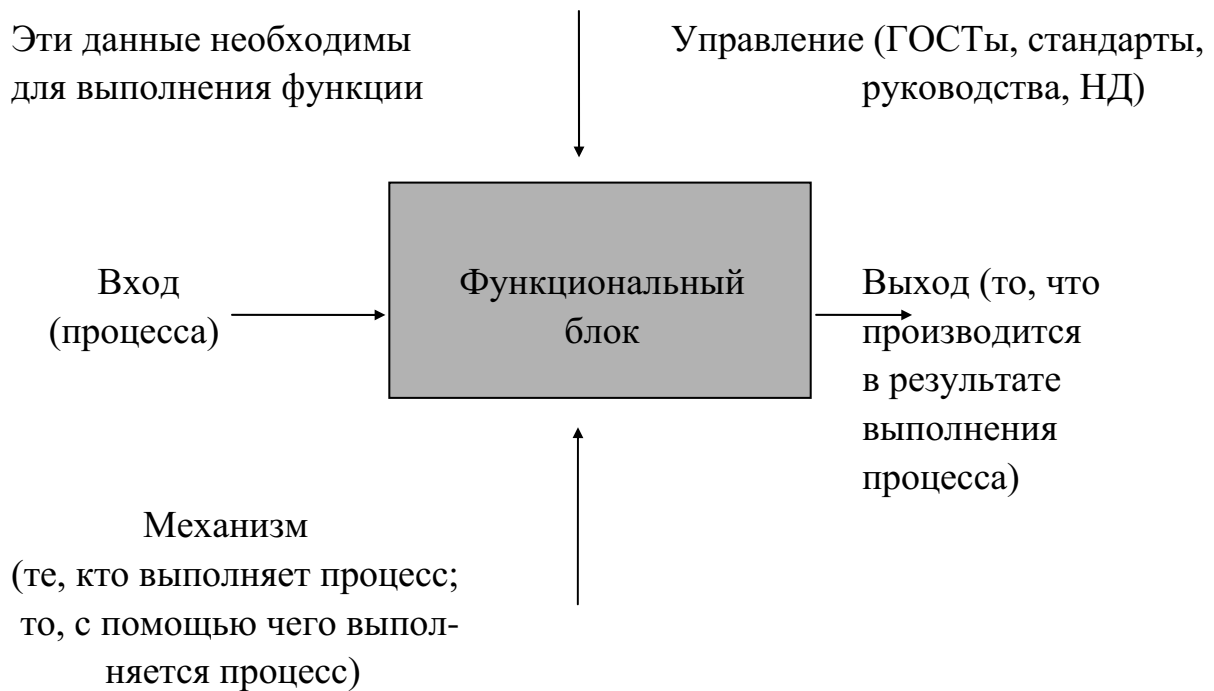


Рис. 2.5. Место соединения дуг с блоком

Модель IDEF0 является иерархически организованной совокупностью диаграмм. Диаграмма верхнего уровня содержит один блок А-0, образуя концептуальную модель СМК ПС. Диаграмма верхнего уровня А0 состоит из блоков с нумерацией А1 – А7. Каждый блок диаграммы может рассматриваться как отдельный блок и сам может состоять из блоков и дуг и т. д.

Функциональная модель СМК ПО «Полированное стекло» строится с точки зрения руководителя СМК. Такой подход позволяет учесть все процессы, влияющие на качество полированного стекла и процессов. Модель должна охватывать все стадии жизненного цикла продукции, а также связанные с ними вспомогательные процессы и процессы менеджмента, входящие в состав деятельности ОАО «Борский стекольный завод».

Разработка диаграмм, описывающих функциональную модель СМК ПО «Полированное стекло», проводилась с использованием CASE – средств автоматизации проектирования и моделирования информационных систем, – программы VPwin.

Дерево разработанных диаграмм (функциональная декомпозиция до второго уровня) представлено на рис. 2.6.

Диаграмма верхнего уровня содержит один блок А–0 (рис. 2.7), образуя концептуальную диаграмму СМК ПО «Полированное стекло». Она, во-первых, служит родительской диаграммой для остальных диаграмм, объявляет общую функцию всей системы – Управлять качеством в ПО «Полированное стекло», т. е. указывает, что делает СМК. Во-вторых, дает множество основных типов данных, которые использует или производит система. Например, стандарты ИСО и ГОСТы позволяют осуществлять менеджмент качеством листового стекла. В-третьих, диаграмма указывает взаимоотношения между основными типами данных, проводя их разграничение. Например, пожелания потребителей рассматриваются как входное данное, изменяемое (реализуемое) процессом, в то время как отдел управления качеством проводит организационно-методическое и научно-техническое руководство работами по менеджменту качества в ПО «Полированное стекло».

Декомпозиция всей системы начинается с составления списка основных типов данных и основных функций. В список данных вносятся основные группы и категории данных, используемые и генерируемые системой. Разрабатываемые диаграммы представляют границы функций и ограничения, накладываемые на них. Ограничения должны присутствовать во всех системах. Указывая ограничения, выявляют естественную структуру системы. Без ограничительных дуг диаграммы не смогут рассказать читателю, почему разработчик выбрал именно данную декомпозицию. Благодаря тому, что различают входные дуги и дуги управления, необходимые для пояснения декомпозиции, разработанные диаграммы объясняют изучаемую систему и причину такой декомпозиции.

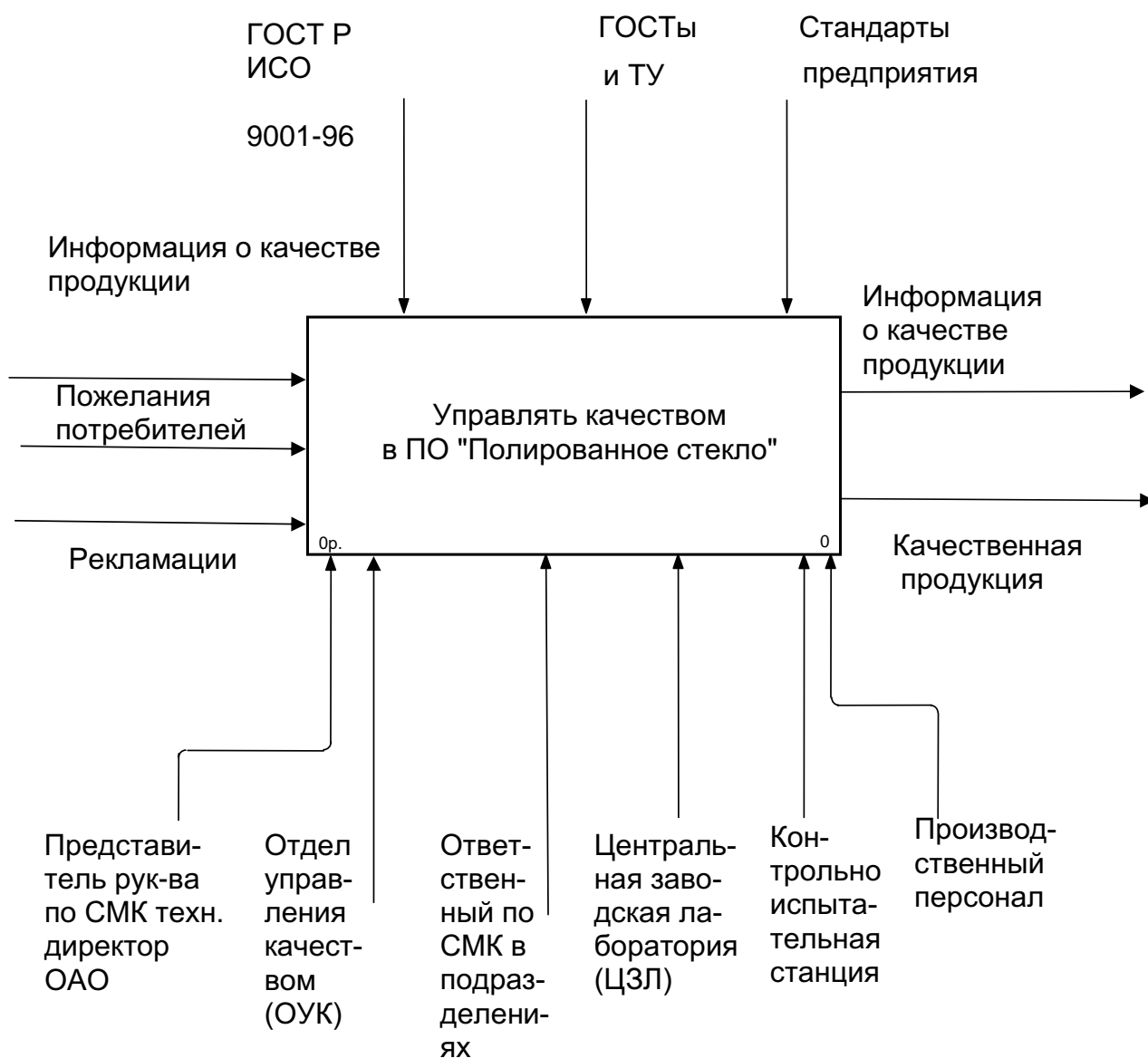


Рис. 2.7. Диаграмма А-0. Концептуальная модель СМК ПО «Полированное стекло»

Закончив список данных, приступают к составлению списка функций. Для этого представляют функции системы, использующие тот или иной класс или набор данных. Несколько различных типов данных могут

использоваться одной функцией. Это позволяет выделить данные сходных типов, которые можно объединить в метатипы. Необходимо внимательно анализировать каждую функцию и ее отношение к группам данных. Стараться надо выбирать такие функции, которые могли бы работать с наиболее общими типами данных из списка. Затем функции объединяют в агрегаты, их число должно составить 3 – 6 функциональных группировок. Созданные группировки должны иметь одинаковый уровень сложности.

Используя метатипы данных и функциональные группировки, создают диаграмму верхнего уровня А0. Диаграмма А0 состоит из блоков с нумерацией А1 – А7. Каждый блок диаграммы рассматривается как отдельный блок, и сам, в свою очередь, состоит из блоков и дуг и т. д.

Разработанные диаграммы подвергаются авторской проверке с целью выявления и устранения недостатков [6]. Затем разработанные диаграммы подвергаются рецензированию экспертами – руководителями и специалистами СМК ПО «Полированное стекло».

Разработанные диаграммы могут дополняться информацией в виде текстов, рисунков и глоссариев. Текст содержит рассказ о каких-либо частях диаграммы. Рисунками поясняют отдельные моменты. Глоссарий – это набор определенных объектов и функций, представленных на диаграмме.

Приведенный набор диаграмм (рис. 2.7 – рис. 2.15) с описанием блоков и стрелок образует процессную модель «как есть» системы менеджмента качества ПО «Полированное стекло».

ГЛАВА 3

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

3.1. Статистические методы анализа и управления качеством продукции

Статистические методы анализа качества широко применяются в отечественных и зарубежных системах управления качеством продукции. Использование статистических методов может помочь в понимании природы изменчивости и, следовательно, может помочь организациям в решении проблем повышения стабильности процессов, их результативности и эффективности.

Современные фирмы применяют статистические методы не только для выявления брака с целью отделения некачественной продукции, но и для его предупреждения, для постоянного контроля производственного процесса в соответствии с концепцией «регулирования качества».

Целью методов статистического контроля является исключение причин, вызывающих непредсказуемые изменения качества продукции. Такую изменчивость можно проследить в измеряемых характеристиках продукции и процессов. Ее наличие можно заметить на различных стадиях жизненного цикла продукции, от исследования рынка до обслуживания потребителей и утилизации. Эти изменения вызываются конкретными причинами, которые нужно установить и устранить.

Статистические методы могут помочь при измерении, описании, анализе, интерпретации и моделировании такой изменчивости. Статистический анализ данных может помочь лучше понять природу, масштаб и причины изменчивости, способствуя решению и предупреждению проблем, которые могут быть результатом такой изменчивости, а также постоянному улучшению.

В менеджменте качества полированного стекла статистические методы могут применяться для решения следующих задач:

- 1) контроля качества сырья и материалов;
- 2) приемочного контроля качества продукции;
- 3) анализа точности и стабильности технологических процессов;
- 4) регулирования технологическими процессами;
- 5) оценки качества труда исполнителей;
- 6) оценки качества технических и технологических факторов;
- 7) анализа рекламаций;
- 8) оценки затрат на качество продукции;
- 9) оценки эффективности нововведений;
- 10) выбора партнеров, поставщиков и клиентов и т. д.

Источником данных для анализа и контроля качества могут служить следующие мероприятия [2]:

1. Инспекционный контроль: регистрация данных входного контроля исходного сырья и материалов; регистрация данных готовой продукции; регистрация данных промежуточного контроля и т. д.

2. Производство и технология: регистрация данных контроля процесса; повседневная информация о применяемых операциях, регистрация данных контроля оборудования (наладка, ремонт, техническое обслуживание); патенты и статьи из периодической печати и т. д.

3. Поставка материалов и сбыт продукции: регистрация движения через склады; регистрация сбыта продукции (данные о получении и выплата денежных сумм, контроль сроков поставок) и т. д.

4. Управление и делопроизводство: регистрация прибыли; регистрация возвращенной продукции; регистрация обслуживания постоянных клиентов; журнал регистрации продаж; материалы анализа рынка и т. д.

5. Финансовые операции: таблицы сопоставления дебета и кредита; регистрация подсчета потерь; экономические расчеты и т. д.

Для анализа данных используются те или иные статистические методы. Так, на японских предприятиях повсеместно используются несложные для понимания и применения статистические методы – так называемые «семь инструментов контроля качества» [2]:

1. Расслоение.
2. Графики.
3. Диаграмма Парето.

4. Причинно-следственная диаграмма.
5. Гистограмма.
6. Диаграмма разброса.
7. Контрольные карты.

Эти методы могут использоваться как в отдельности, так и в различных комбинациях. Рассмотрим содержание этих методов и область применения.

Расслоение – один из наиболее простых статистических методов анализа. Если предполагается, что отклонения в качестве связаны с условиями изготовления, то следует проводить сравнительное изучение измеренных показателей по отдельным «слоям» – отдельно по машинам и оборудованию, отдельно по каждому оператору, отдельно по бригадам, отдельно по дневной и ночной сменам и т. д.

Графики – дают возможность не только оценить состояние на данный момент времени, но и проанализировать общую тенденцию изменения, т. е. выделить тренд и сезонные колебания, спрогнозировать более удаленный результат по тенденциям процесса. Для анализа могут применяться различные типы графиков – непрерывные, кусочно-линейные, столбчатые, ленточные, круговые диаграммы и др.

Диаграмма Парето может использоваться при решении таких проблем, как появление брака, неполадки оборудования, контроль продукции на складах, поступление рекламаций, задержка сроков поставки сырья и материалов, трудности с оборотом кредитных сумм, освоение новых правил принятия заказов и т. д. Диаграмма Парето строится в виде столбчатого графика в нескольких вариантах, последовательный анализ которых позволяет составить отдельную диаграмму Парето для конкретных явлений. Диаграмму Парето целесообразно применять вместе с причинно-следственной диаграммой. Чтобы решить проблему, связанную с низким качеством продукции, необходимо уяснить сущность явления по каждому конкретному виду дефекта.

В подобной ситуации собираются заинтересованные лица и всесторонне изучают коренную причину недоброкачества. В результате останавливаются на 4 – 5 причинах, требующих первоочередного внимания. После проведения корректирующих мероприятий повторно строят диаграмму Парето и оценивают эффективность проведенных улучшений.

Причинно-следственная диаграмма (схема Исикавы) [2]. Широко используется в Японии. Процесс представляется как взаимодействие четырех «М»: Material – Материал, Machine – Оборудование, Man – Оператор, Method – Метод. Диаграмма, получившая название «рыбья кость», отображается графически. Для составления диаграммы подбирают максимальное число факторов, имеющих отношение к характеристике, и вышедшие за пределы допустимых значений. При исследовании причин пользуются групповым методом анализа причин, называемым «мозговым штурмом».

Гистограмма применяется для анализа значений измеренных параметров, она позволяет оценить центр значений и рассеяние параметра. Гистограмма представляет столбчатый график, построенный по полученным за определенный период данным. Гистограмма может применяться в различных областях:

- для анализа значений показателей качества продукции;
- для анализа числа бракованных изделий, числа дефектов;
- для анализа времени работы оборудования, времени износа режущей поверхности и т. д.;
- для анализа времени обработки, времени реагирования группы обслуживания, заявок клиента и т. д.;
- для анализа сроков получения заказа (по отношению к сроку поставки по договору).

Полученная в результате анализа гистограммы информация может использоваться для построения и исследования причинно-следственной диаграммы, что повысит обоснованность мер, намеченных для улучшения процесса.

Диаграмма разброса применяется для исследования зависимостей между двумя видами данных, например показателей качества от влияющих факторов (содержания пороков от технологического режима), величины прибыли от качества продукции и др. Диаграмма разброса строится как точечный график. Если на диаграмме провести линию медианы, то она позволяет определить наличие между этими двумя параметрами корреляционной связи.

Контрольные карты используются в виде графиков, получаемых в ходе технологического процесса. Они отражают динамику процесса. Для анализа используются различные типы контрольных карт [2]: X – R, медиан, p- карты (дефектной продукции), np-карты, с-карты.

Большинство из рассмотренных методов используется при анализе и управлении качеством полированного стекла и более подробно описывается в следующих параграфах монографии.

3.2. Контроль качества материалов, сырья и продукции

Контроль, по определению международного стандарта ИСО 9000, представляет процедуру оценивания соответствия путем наблюдения и суждений, сопровождаемых соответствующими измерениями, испытаниями или калибровкой.

Основные термины и определения контроля установлены ГОСТом 16.504-81. Разнообразие видов контроля можно классифицировать по ряду признаков:

- по структуре организации (самоконтроль, одноступенчатый и многоступенчатый);
- по объему проверки (сплошной и выборочный);
- по периоду проверки (первичный, летучий, периодический);
- по стадиям производственного процесса (входной, операционный, приемочный, хранения, транспортирования);
- по контролируемому параметру (по количественному признаку, по качественному признаку, по альтернативному признаку);
- по особенностям проверки (разрушающий, неразрушающий);
- по средствам контроля (инструментальный, органолептический, визуальный);
- по степени автоматизации контроля (ручной, механизированный, автоматический, автоматизированный).

Объектами технического контроля на стекольных заводах являются поступающее сырье, материалы, готовая продукция, оборудование, инструмент, приборы, технологические процессы, общая культура производства.

Контроль качества на стекольном заводе включает:

- входной контроль качества сырья, материалов, стекла, поступающего из других заводов группы Glaverbel, инструментов, поступающих на склады предприятий и т. п. ;
- производственный постадийный контроль соблюдения установленного технологического режима;
- контроль состояния оборудования, машин, режущего инструмента, контрольно-измерительных приборов, условий производства, транспортировки изделий и др.;
- контроль готовой продукции.

В этом параграфе рассмотрим методику контроля, устанавливающую соответствие качества материалов, сырья и продукции установленным стандартам и техническим требованиям.

Качество производимого листового стекла непосредственно зависит от уровня качества используемых сырьевых материалов. Основными сырьевыми материалами являются: кварцевый песок с содержанием оксидов железа не более 0,15 %, доломит с содержанием оксидов железа до 0,3 %, известняк, кальцинированная сода, сульфата натрия, полевошпатовое сырье. Центральная лаборатория и техническая служба завода строго следят за качеством сырьевых материалов, которое характеризуется следующими параметрами:

- химической однородностью и постоянством химического состава;
- минимальным содержанием оксидов железа;
- относительной однородностью и постоянством гранулометрического состава.

Входной контроль устанавливает степень соответствия основных параметров качества сырья требованиям ГОСТов или технических условий. Основная цель такой оценки и контроля – надзор за качеством поступающих сырьевых материалов, анализ динамики качества сырьевых ресурсов.

Для оценки качества сырьевых материалов применяется статистический приемочный контроль, основанный на методах математической статистики для проверки соответствия качества сырья установленным требованиям и принятии партии.

Качество оценивается по плотности распределения вероятности изменения контролируемого параметра для каждого вида сырья. Одним из способов оценки плотности распределения является построение гистограммы [2]. Гистограмма позволяет выявить закон распределения плотности вероятности, получить оценки математического ожидания и дисперсии значения контролируемого параметра в партии сырья.

Для примера рассмотрим гистограмму, построенную для оценки качества сульфата натрия по содержанию основного вещества в сырье, поставляемом на завод. По техническим требованиям содержание натриевой соли серной кислоты должно находиться в пределах от 97,3 до 99 % по массе в пересчете на сухое вещество. Для оценки содержания основного вещества в полученном сульфате натрия из партий поставленного сырья отбирались пробы (в примере 100 проб). По техническим условиям ширины размаха содержания солей составляет

$$R = X_{\text{макс}} - X_{\text{мин}} = 99 - 97,3 = 1,7 \text{ \%}.$$

При выбранном числе интервалов, равном пяти, ширина интервала равна

$$H = 1,7 : 5 = 0,34 \text{ \%}.$$

Подсчитываем количество измерений, попадающее в каждый интервал. По подсчитанным данным строим гистограмму (рис. 3.1). По распределению на гистограмме можно выяснить, в удовлетворительном ли состоянии по качеству находятся поставляемые партии сырья. Для этой цели, исходя из установленных допусков, рассматривают следующие вопросы: какова ширина распределения по отношению к ширине допуска, каков центр распределения по отношению к центру поля допуска, какова форма распределения. На рис. 3.1 форма распределения удовлетворительная, так как левая и правая стороны примерно симметричны относительно центра распределения. Если ширину распределения сравнить с шириной допуска, то они одинаковые. Центр распределения и центр поля допуска также совпадают. Это указывает на то, что качество партий анализируемого сырьевого материала находится в удовлетворительном состоянии. При этом надо помнить, поскольку область распределения совпала с шириной поля допуска, то есть опасение, что со стороны верхнего и нижнего пределов допуска могут появиться пробы, в которых результаты анализов будут вы-

ходить за установленные пределы. Поэтому необходимо указать поставщику на необходимость принятия мер для стабилизации качества поставляемого сырья.

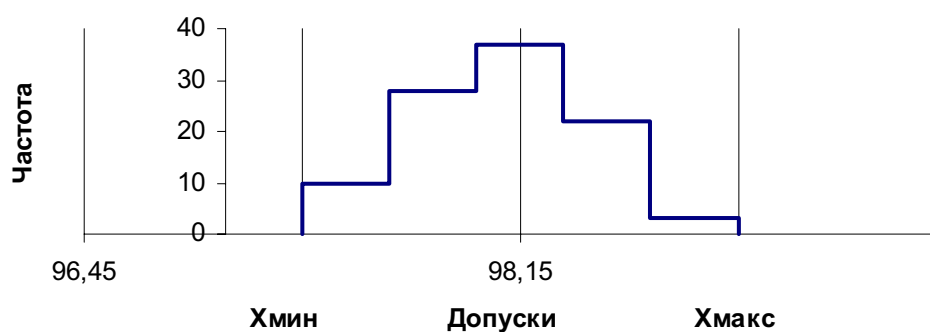


Рис. 3.1. Содержание натриевой соли серной кислоты в сульфате натрия

На рис. 3.2 форма распределения отклонена влево, поэтому центр распределения тоже смещен влево. Имеется опасение, что возможна поставка партии сырья с содержанием основного вещества, выходящим за нижний предел допуска. Такое сырье не может использоваться в для подготовки шихты без корректировки рецепта шихты.

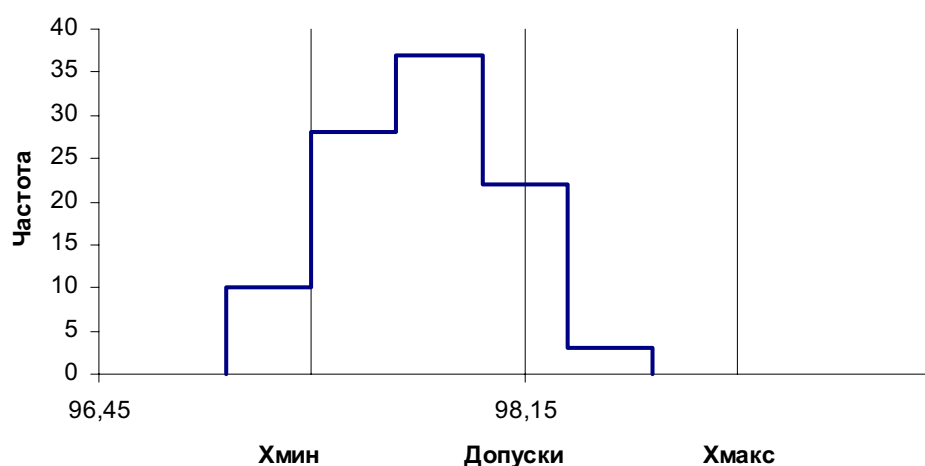


Рис. 3.2. Содержание натриевой соли серной кислоты в сульфате натрия

На рис. 3.3 центр распределения совпадает с центром поля допуска, но широта распределения превышает ширину поля допуска.

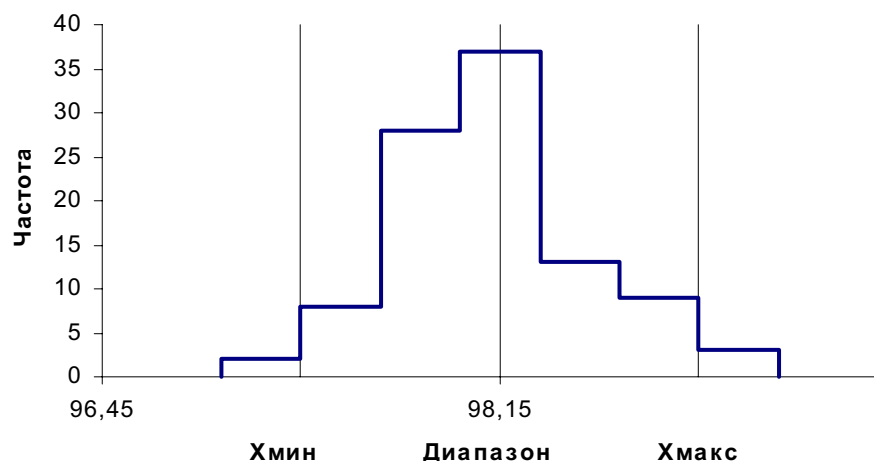


Рис. 3.3. Содержание натриевой соли серной кислоты в сульфате натрия

На диаграмме обнаруживаются анализы проб по обе стороны допуска. Такое сырье не может быть использовано при подготовке шихты. Оно не удовлетворяет установленным требованиям по стабильности содержания основного вещества в сульфате натрия.

На рис. 3.4 форма распределения отклонена вправо, но находится в пределах допусков. При этом центр распределения тоже смещен вправо.

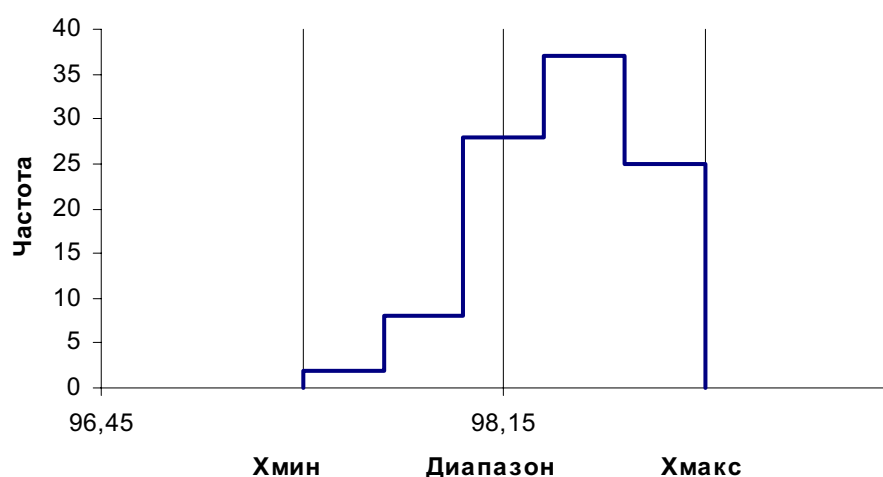


Рис. 3.4. Содержание натриевой соли серной кислоты в сульфате натрия

Правая сторона распределения имеет вид высокого края (в форме обрыва). Имеется опасение, что среди поставляемых партий могут находиться партии, в которых содержание основного вещества выходит за верхний предел допуска. Смещение центра распределения вправо требует корректировки рецепта шихты.

Гистограмма позволяет распознавать состояние качества поставляемых партий сырья по внешнему виду распределения. Однако, она не дает числовых данных о центре распределения, величине разброса, симметрии между левой и правой сторонами распределения.

Для оценки центра распределения проводят подсчет средней арифметической по формуле:

$$X_{cp} = (\sum X_i * f_i) / n ,$$

где X_i – середины интервалов,
 f_i – частота каждого интервала,
 $n = \sum f_i$ – величина выборки.

Для количественной оценки рассеяния значений используют среднее квадратическое отклонение:

$$S_x = \sqrt{(\sum (X_i - X_{cp})^2 * f_i) / n} .$$

Асимметрия распределения оценивается с помощью показателя асимметрии, который рассчитывается по формуле:

$$\sum_k = m_3 / (S_x)^3 ,$$

где \sum_k – показатель асимметрии;

m_3 – центральный момент третьего порядка.

Значение центрального момента третьего порядка вычисляется по формуле:

$$m_3 = (\sum (X_i - X_{cp})^3 * f_i) / n$$

Для симметричного распределения показатель асимметрии равен нулю [40].

Технологический процесс приготовления шихты строится на основе принятого рецепта химического состава стекла. Состав стекольной шихты рассчитывается по заданному рецепту стекла с учетом химического состава сырьевых материалов. Весовой состав шихты является исходным для организации производства шихты.

В производстве практически невозможно получить шихту идеального качества, она всегда имеет отклонение от расчетного весового состава. Эти отклонения обуславливаются колебаниями химического состава сырья, ошибками дозирования, ошибками анализов сырья и шихты, неполнотой смешивания. Качество шихты оценивается по категориям в зависимости от отклонений по пятибалльной шкале (табл. 3.1)

Таблица 3.1

Шкала категорий шихты

Категория шихты	1	2	3	4	5
Отклонение в %	±0,2	±0,4	±0,6	±0,8	±1,0

На производстве установлена также сортность шихты в зависимости от отклонений весового состава хотя бы одного компонента (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Шкала сортности шихты

Сортность шихты	1	2	3
Отклонение весовое в %	до 0,6 %	до 0,8 %	до 1,0 %

Качество подготовки шихты за анализируемый интервал времени можно оценивать с помощью относительного показателя, вычисляемого по формуле:

$$\lambda_i = G_i / \sum G_i,$$

где λ_i – относительный объем выработки шихты i -м сортом;

G_i – выработано шихты i -м сортом за анализируемый интервал времени, $i=1,2,3$;

$\sum G_i$ – общее количество выработанной шихты.

На производстве ведется дифференцированный учет показателей качества шихты, для чего проводятся ежесменные экспресс-анализы следующих параметров шихты: нерастворимых остатков, щелочности, оксидов железа, влажности. По результатам анализов строятся контрольные карты в виде графиков типа $X - R$ (рис. 3.5). Графики отражают динамику процесса – изменение среднего уровня показателя X (тренд) и его разброс R .

Изменение усредненного по суткам значения окислов железа описывается линейно зависимостью (формула приведена на поле графика). Как видно из графика и аналитического описания тренда, наблюдается тенденция уменьшения среднего содержания окислов железа с $0,085 \text{ г/см}^3$ в январе до $0,077 \text{ г/см}^3$ в декабре.

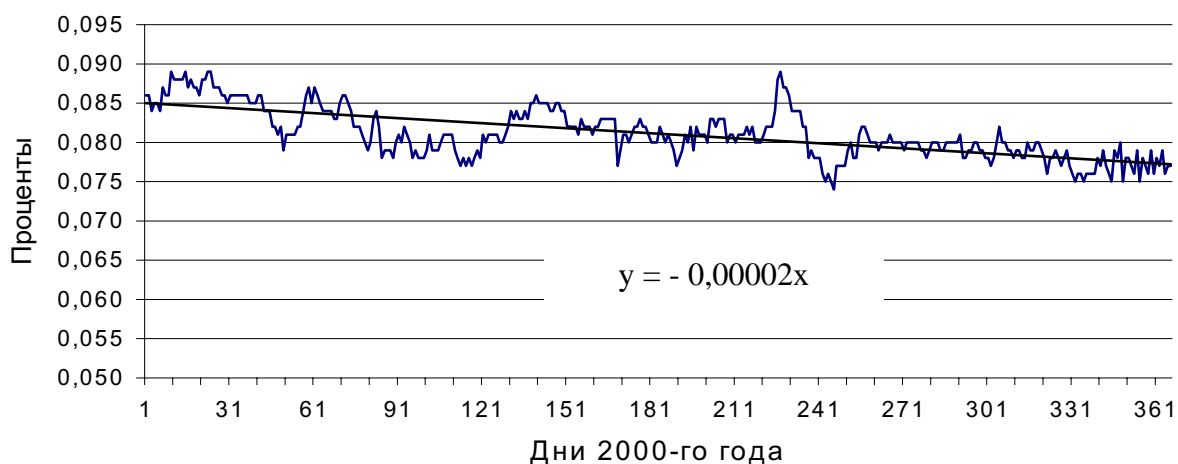


Рис. 3.5. График изменения содержания окислов железа в стекле

Построение диаграмм на заводе упрощается в связи с функционированием там системы мониторинга PI. Все данные лабораторных анализов сохраняются в базе данных системы и не вызывает труда их извлечение для проведения оперативного контроля по анализу качества подготовки шихты и принятия, в случае необходимости, корректирующих мер.

Стабильность параметров шихты по отдельным показателям оценивается с помощью коэффициента вариации δ , который вычисляется по формуле

$$\delta = (S_x / X_{cp}) 100 \%$$

Качество подготовки шихты в ПО «Полированное стекло» ОАО «Борский стекольный завод» характеризуется статистическими данными, приведенными в табл. 3.3 [10]:

Таблица 3.3

Отклонения качественных показателей шихты в течение года

Показатели	Нерастворимость, %	Щелочность, %	Оксид железа (II), %	Влага, %
Среднее арифметическое	61,8	17,9	0,106	4,3
Среднее квадратичное	0,19	0,16	0,005	0,19
Коэффициент вариации	0,31	0,9	4,7	4,4

Как видно из таблицы, наибольшие колебания наблюдаются по содержанию оксидов железа и влажности шихты. Вариация этих компонент достигает 4,7 – 4,4 %. Достаточно стабильны щелочность и нерастворимые остатки в шихте. Вариация этих параметров находится в пределах 0,3 – 0,9 %. На влажность шихты можно оказать регулирующее воздействие в цехе подготовки шихты. Уменьшить вариацию содержания окиси железа в шихте можно только ужесточением требований к содержанию оксидов железа в поставляемых сырьевых материалах.

Приемку стекла на соответствие требованиям ГОСТ 111–2001 проводят партиями, под которыми понимают количество стекла, оформленное одним документом о качестве. Стекло подвергают приемосдаточным испытаниям с использованием статистических методов приемочного контроля качества продукции. Применяют выборочный контроль с использованием двухступенчатых корректируемых планов контроля [39]. План выборочного контроля листового стекла определен ГОСТ 111–2001, его алгоритм описан в параграфе 1.2. От объема контролируемой партии зависят объем выборки, приемочное и браковочное числа.

Приемочным испытаниям в отобранной выборке подвергаются образцы стекла по следующим параметрам: предельные отклонения по толщине и разнотолщинность, отклонения по длине и ширине листа, разность длин диагоналей листа, отклонение от плоскостности листа, отклонения от прямолинейности кромок и прямоугольности углов, оптические искажения стекла, количество и размер допустимых пороков.

При использовании методов выборочного контроля решение о качестве партии принимается по данным выборочных испытаний. С одной стороны, всегда существует *риск поставщика*, что в случайной выборке окажется большое число дефектных листов, тогда как во всей партии их доля допустима. В этом случае годная партия будет ошибочно забракована и будет совершена ошибка *первого рода*. С другой стороны, при сильной засоренности партии дефектными листами в выборке может оказаться небольшое число дефектных листов и партия будет ошибочно принята. В этом случае говорят о *риске потребителя* и имеет место ошибка *второго рода*. При составлении планов выборочного контроля руководствуются тем, чтобы риски поставщика и потребителя не превышали требуемых величин, например, 0,01, 0,05, 0,1.

Такие параметры листового стекла, как коэффициент направленного пропускания света, величина остаточных внутренних напряжений, водостойкость подвергаются периодическим испытаниям. Периодичность испытаний, количество испытываемых образцов листа, методика испытаний указаны в табл. 3.4 [8]:

Таблица 3.4

Периодические испытания листового стекла

Характеристики	Количество образцов	Периодичность испытаний	Методы контроля
Коэффициент направленного пропускания света	3	Один раз в три месяца и при изменении технологии производства	По ГОСТ 26302 с погрешностью не более 1 %
Остаточные внутренние напряжения	5	Один раз в три месяца и при изменении технологии производства	По ГОСТ 3519
Водостойкость	3	Один раз в год и при изменении технологии производства	По ГОСТ 10134.1

При получении неудовлетворительных результатов хотя бы на одном листе проводят повторные испытания на удвоенном количестве образцов стекла. Результаты повторных испытаний распространяют на всю контролируемую партию. При получении неудовлетворительных результатов повторных испытаний партию бракуют и переводят испытания по данному показателю в программу приемосдаточных испытаний до получения положительных результатов не менее чем для двух партий подряд.

Изготовитель может устанавливать в своей технической документации другие виды контроля качества продукции. Так, в ПО «Полированное стекло» после стадии резки и раскроя проводится окончательный контроль листов стекла перед установкой их в тару и пирамиды. Этот контроль проводят контролеры участка резных столов. Они выявляют дефекты на листах, регистрируют вид дефекта и место их порождения по стадиям производства. Контрольный листок заполняется посменно по каждому резному столу или автоукладчику с указанием фамилий резчика, мастера смены и контролера. Контрольный листок имеет примерно такой вид (табл. 3.5):

Таблица 3.5

Контрольный листок участка резные столы

	Размер и толщина	1600х600х5 мм		
		Результаты контроля	Бункер брака	М4
1	Пузыри	### /	6	
2	Камни	///	3	
3	Олово из горячей зоны	/	1	
	ИТОГО (КАЧЕСТВО 1 (12)):		10	
4	Свиль узловая	/	1	
5	Кристаллизация	///	3	
6	Хлопья олова	/	1	
7	Налипание олова			
8	Крапинки олова	/	1	
9	Брак по толщине	### ## ## //		17
10	Зебра (оптика)			
11	Шаговые натирки и посечки от валов			
12	Борт (не хватает ширины)	## //	8	
	ИТОГО (КАЧЕСТВО 2 (13)):		14	
13	Поперечная резка			
14	Посечки, трещины, заколы	//	2	
15	Царапины с поперечной отрезки			
16	Сырое			
17	Отходы раскроя			
	ИТОГО (ОТХОДЫ ГЛАВНОЙ ЛИНИИ (2)):		2	
18	Царапины на столе, роботе	/	1	
19	Заколы, осыпь, посечки, трещины			
20	Габаритные размеры			
21	Плохая резка из-за ролика	//	2	
	ИТОГО (ОТХОДЫ НА СТОЛАХ (3)):		3	
22	Бой на столах, плохой рез из-за отжига, кривизна	///	3	
23	Царапины с отдела выработки			
	ИТОГО (ОТХОДЫ ЛЕРА (11)):		3	
24	Ремонт или авария оборудования			
	ИТОГО (ОТХОДЫ ПО ПРИЧИНЕ ОБОРУДОВАНИЯ (5)):			
25	Грязь			
	ИТОГО (ОТХОДЫ ПО ПРИЧИНЕ ОБОРУДОВАНИЯ (ВЫРАБ (15))):			
26	Погрузчик			
	ИТОГО (ОРГАНИЗАЦИЯ (6)):			
	ИТОГО ПО БРАКУ		32	17
	ГОДНОЕ (ВЫРАБОТКА):			

По данным контрольных листков строят *диаграммы Парето* [1]. Различают два вида диаграмм:

1. *По результатам деятельности.* Они служат для выявления главных проблем и отражают нежелательные результаты деятельности (дефекты, отказы оборудования и т. д.).
2. *По причинам (факторам).* Диаграммы отражают причины проблем, которые возникают в ходе производства.

Рекомендуется строить много диаграмм Парето, используя различные способы классификации, как результатов, так и причин, приводящих к этим результатам. Лучшей считают такую диаграмму, которая выявляет немногочисленные, наиболее важные факторы, что и является целью анализа Парето.

Рассмотрим в качестве примера построение диаграммы Парето, отражающей результаты выработки листового стекла в течение смены на конкретном рабочем месте по данным контрольного листка табл. 3.5. Для этого проведем ранжирование данных, характеризующих дефекты вырабатываемого листового стекла по такому признаку, как причина проблем, возникшая в ходе производства:

**КАЧЕСТВО 2(13), КАЧЕСТВО 1 (12), ОТХОДЫ ЛЕРА (11),
ОТХОДЫ НА СТОЛАХ (3), ОТХОДЫ ГЛАВНОЙ ЛИНИИ (2)**

С использованием данных (табл. 3.5) количества забракованных листов строим столбиковую диаграмму Парето (рис. 3.6).

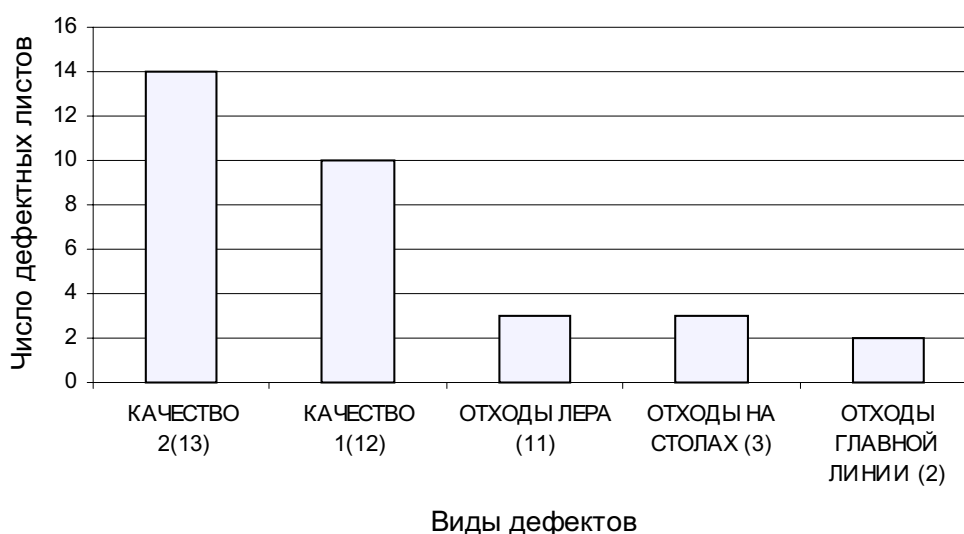


Рис. 3.6. Распределение бракованных листов по видам дефектов

Значительный интерес представляет построение диаграмм Парето в сочетании с диаграммой причин и следствий. Их анализ позволяет выявить главные факторы, влияющие на качество продукции.

3.3. Статистический анализ точности и стабильности технологических процессов

Под статистическими методами анализа точности технологического процесса понимают сопоставление «поля рассеивания» интересующего исследователя признака (выходной переменной процесса, технологического режима и т. д.) с заданным допуском [40]. «Поле рассеивания», отвечающим некоторой вероятности, называется зона, лежащая между границами значений признака качества, вероятность $q/100$ выхода за которые практически пренебрежимо мала. Если поле рассеивания не больше допуска, то точность процесса признается удовлетворительной. Точность считается недостаточной, если поле больше допуска.

Таким образом, при анализе точности технологического процесса в статистическом отношении задача сводится:

- 1) к оценке с нужным приближением закона распределения исследуемого признака;
- 2) к нахождению с помощью этого закона поля рассеивания, отвечающего достаточно близкой к единице вероятности P нахождения признака в пределах этого поля;
- 3) к сопоставлению полученного таким путем поля с допуском.

Технологический процесс производства листового стекла характеризуется непрерывностью протекания во времени. Признаки, характеризующие технологический процесс, представляют собой случайные функции времени. Для их анализа должна использоваться теория случайных процессов. Однако здесь мы подойдем к вопросу проще: будем рассматривать измеренные значения признака как выборки из совокупности объектов, составляющих продукцию (выход) процесса.

Существуют различные виды распределения случайных величин: нормальное, биномиальное, распределение размаха, распределение Пуассона и др. Очень часто нормальное распределение используют как модель, так как многие совокупности измерений имеют распределение, приближающееся к нормальному.

Различают «мгновенное» и «суммарное» распределение. Мгновенное распределение имеет место в случае, когда действие всех производственных факторов в течение времени остается неизменным. Суммарное распределение получается как результирующее, которое складывается под действием изменяющихся во времени факторов.

Если положение центра настройки непрерывно или систематически контролируется, то поле рассеивания находят на основе параметров мгновенного распределения.

Ранее проведенные исследования показали, что при стабильном протекании процесса варки-выработки листового стекла, изменения признаков, характеризующих технологический процесс, могут описываться нормальным законом распределения [41]. Поэтому в дальнейшем принимаем гипотезу нормальности распределения контролируемых признаков.

Нормальный закон распределения характеризуется двумя параметрами – математическим ожиданием и дисперсией, которые оцениваются средним значением и среднеквадратичным отклонением наблюдаемых признаков. Число наблюдений выбирается из условия обеспечения нужной точности и надежности оценки параметров.

Если задаться требуемой надежностью α и желаемой точностью результатов наблюдений q , представляющей собой относительную предельную ошибку оцениваемого параметра, то число наблюдений можно определить из неравенств [40]:

- для оценки математического ожидания $n_x \geq (z_\alpha)^2/q^2$,
- для оценки дисперсии $n_s \geq (z_\alpha)^2/(2q^2)$,

где z_α – табличное значение нормированной функции Лапласа.

Например, требуется определить число наблюдений плотности вырабатываемого стекла для оценки параметров нормального закона распределения – математического ожидания и дисперсии. Требуемая надежность оценок $\alpha=0,9$, предельная ошибка оценок $q=0,3$. По таблице находим $z_\alpha=1,64$. Проведем расчеты:

- число наблюдений для оценки математического ожидания плотности равно $n_x \geq (z_\alpha)^2/q^2 = 1,64^2/0,3^2 = 30$;
- требуемое число наблюдений для оценки дисперсии в два раза меньше $n_s \geq 15$.

Таким образом, полученные из наблюдения среднее значение плотности и квадрат среднеквадратичного отклонения с 90 %-ной гарантией будут покрывать неизвестные значения математического ожидания и дисперсии плотности вырабатываемого стекла.

После расчетного определения числа наблюдений признака, необходимо получить эти данные. Это может быть проведено путем регистрации с определенной дискретностью значений анализируемого признака. Так, плотность вырабатываемого стекла и однородность анализируются с периодичностью один раз в сутки. Поэтому для анализа точности и стабильности технологического процесса варки-выработки листового стекла по анализируемым признакам необходима информация за один месяц непрерывной работы технологической линии.

В общем случае, по результатам наблюдений вначале проверяется гипотеза нормальности закона распределения либо она принимается на основании ранее проведенных исследований, как в нашем случае.

Точность технологического процесса в случае нормального закона распределения можно оценить количественно с использованием следующей формулы [2]:

$$K_T = 6S_x / \Delta X,$$

где K_T – коэффициент точности технологического процесса;

$\Delta X = X_B - X_H$ – допуск на анализируемый признак;

S_x – среднее квадратическое отклонение.

Точность технологического процесса оценивают исходя из следующих критериев:

$K_T \leq 0,75$ – технологический процесс точный, удовлетворительный;

$K_T = 0,75 - 0,98$ – требует внимательного наблюдения;

$K_T > 0,98$ – неудовлетворительный.

В случае $K_T > 0,98$ необходимо немедленно выяснить причину большого разброса признака и принять меры управляющего воздействия.

Не менее важной характеристикой технологического процесса является его стабильность (стационарность в терминах случайных процессов), заключающаяся в способности сохранять значения математического ожидания и дисперсии неизменными в течение некоторого времени.

Материалом для анализа стабильности технологического процесса могут служить те же данные, что и для анализа точности [40]. Эти данные должны представлять непрерывные наблюдения, охватывающие достаточный промежуток времени. Интервалы между выборками, называемые пробами, устанавливаются в зависимости от наблюдаемой частоты разладок технологического процесса. Информацию о состоянии процесса за данный промежуток времени получают из отвечающей ему пробы. При выборе численности проб встречаются с противоречием: для более точного суждения о состоянии процесса в данный момент времени проба должна быть достаточно большой. Но увеличение пробы ведет к тому, что она все в большей мере будет включать происходящие с течением времени изменения в ходе технологического процесса, в частности, изменения центра настройки и характеристики рассеивания. Поэтому проба должна быть возможно меньшей. Если пользоваться терминами теории случайных нестационарных процессов, то проба должна соответствовать участку стационарности изучаемого процесса. Размер выборки в пробе, т. е. число наблюдений, должен определяться точностью получаемых оценок.

Обработывая материал по каждой пробе, определяют моменты разладок процесса, заключающиеся:

- 1) в смещении центра настройки;
- 2) в изменении рассеивания.

Установив моменты разладок, определяют наименьший и средний периоды времени, протекающего между двумя разладками: по центру настройки и по рассеиванию. Продолжительность полученных межразладочных периодов будет характеризовать стабильность технологического процесса.

Дополнительными приемами исследования стабильности технологических процессов служат [40]:

- 1) точечные диаграммы;
- 2) точностные диаграммы;
- 3) диаграммы доверительных интервалов;
- 4) контрольные карты.

Статистический контроль технологического процесса удобно осуществлять с помощью контрольных карт. Рассмотрим в качестве примера

контрольную карту температуры стекломассы в квельпункте ванной стекловаренной печи ЛПС-1, построенную по ретроспективным данным за 2000 г. (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Контрольная карта температуры стекломассы в квельпункте

Контрольная карта состоит из центральной линии, характеризующей среднюю температуру варки стекла, равную 1234°C . Содержит два контрольных предела: верхний предел 1249°C и нижний предел 1219°C , задаваемые стандартом предприятия. Среднесуточные значения температуры стекломассы помечены утолщенной линией.

Анализ контрольной карты показывает, что в точках с 37 по 63 (февраль), а также в точке 343 (декабрь) имел место выход точек за контрольные пределы, т. е. технологический процесс варки стекла выходил из-под контроля. Сильное рассеяние точек 115-130 (апрель месяц) относительно центральной линии говорит о снижении точности технологического процесса. Полученная информация свидетельствует о причинах, не случайных, которые привели к нарушению процесса варки.

Рассчитаем количественную оценку точности технологического процесса варки стекла по температуре стекломассы в квельпункте за 2000 год. Среднеквадратичное изменение температуры составило $S_x = 11,4^{\circ}\text{C}$,

допуск на изменение температуры задан по стандарту предприятия, равным $\Delta X = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, при этом коэффициент точности составляет:

$$K_T = 6 \cdot S_x / \Delta X = 6 \cdot 11,4 / 30 = 2,28,$$

что показывает на недостаточную точность ведения технологического процесса в течение года.

Статистическое регулирование технологическим процессом удобно осуществлять с помощью таких контрольных карт, на которых отмечают значения определенной статистики, полученные по результатам наблюдений. Такими показателями являются среднее арифметическое, медиана, среднее квадратичное отклонение, размах и др. На контрольной карте отмечают границы регулирования, ограничивающие область допустимых значений статистики.

Контрольные карты типа средних арифметических значений и размахов широко используются для управления технологическими процессами, у которых анализируемый признак имеет нормальный закон распределения, и коэффициент точности находится в пределах 0,75 – 0,85 [2]. Эти карты позволяют контролировать изменение среднего арифметического значения признака (оценки математического ожидания) и изменение рассеивания контролируемого признака (размаха).

При статистическом регулировании технологического процесса обычно используют двойные контрольные карты, на одной из которых отмечают среднее значение, а на другой – характеристику рассеивания.

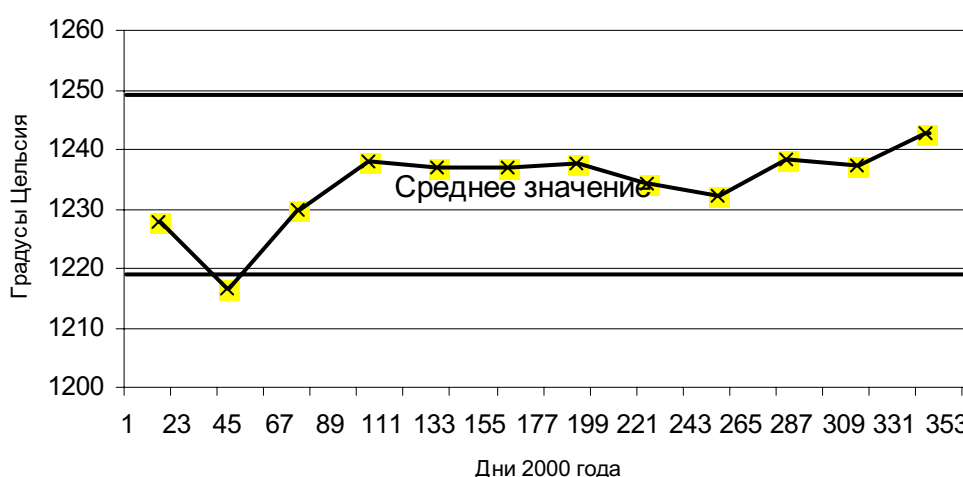


Рис. 3.8. Контрольная карта средней температуры стекломассы в квельпункте стекловаренной печи

Рассмотрим контрольные карты средних значений и размаха для температуры стекломассы в стекловаренной печи, построенные по данным графика рис. 3.7.

Контрольная карта (рис. 3.8) построена по расчетным значениям среднемесячной температуры стекломассы в 2000 году. На карте отмечены верхняя и нижняя границы регулирования. На карте видна заниженная среднемесячная температура стекломассы в феврале (точка 46 – 1216,6 °С). В остальные месяцы технологический режим варки стекла по средней температуре выдерживался в заданных пределах.

На карте (рис. 3.9) отмечены размахи температуры, которые определялись как разница между максимальными и минимальными значениями температуры стекломассы в течение каждого месяца. Тут же показан верхний предел размаха. Как видно из графика, стабильность технологического процесса варки в 2000 году была невысокой. Наблюдался высокий размах температуры стекломассы в феврале (до 80,4 °С) и декабре (до 58 °С).

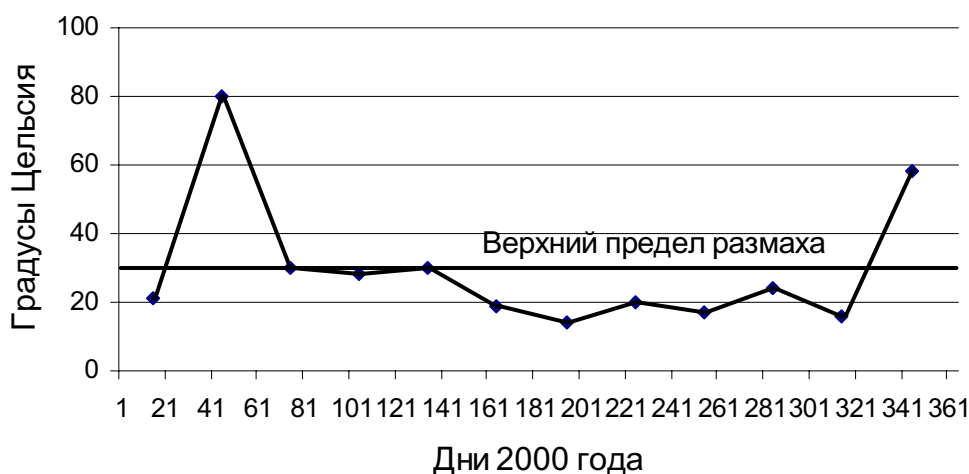


Рис. 3.9. Контрольная карта размаха температуры стекломассы в келье стекловаренной печи

Получение оперативной информации с помощью контрольных карт позволяет организовать статистическое регулирование технологическим процессом варки-выработки листового стекла.

Вырабатываемая лента стекла после отжига проходит автоматический контроль качества с помощью восьми лазерных дефектоскопов фирмы Glaverbel, установленных по ширине движущейся ленты. Дефектоскопы выявляют пороки, видимые в проходящем свете и проводят их классификацию по геометрическим размерам (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Классификация дефектов ленты стекла по геометрическим размерам

Класс дефектов	1	2	3	4	5
Размеры дефектов, мм	от 1 до 2	от 2 до 5	от 5 до 15	от 5 до 15	> 15

Подсчет дефектов проводится непрерывно в течение часа, их количество пересчитывается на 10 м^2 выработанной ленты стекла. Расчетные данные записываются в контрольные листки примерно такого вида, как табл. 3.5.

По данным контрольных листов строятся диаграммы Парето двух видов:

- 1) по результатам деятельности, которые отражают классы выявленных дефектов, аналогично рис. 3.6;
- 2) по причинам (факторам), которые отражают причины, возникающие в ходе технологического процесса.

Диаграммы причин применяются при выделении наиболее значимых факторов, порождающих дефекты. Ими могут быть причины стекловарения, вызывающие дефекты 1-го и 2-го классов, а также причины, возникающие при формовании ленты стекла и отжиге.

Диаграммы по результатам деятельности могут строиться для отображения марки вырабатываемой ленты стекла по количеству допустимых пороков в соответствии с требованиями ГОСТ 111-2001.

Описанные методы статистического контроля эффективно реализуются с помощью персональных компьютеров. Большинство из рассмотренных методов реализовано в системе мониторинга РІ ОАО «Борский стекольный завод».

3.4. Статистические методы регулирования технологических процессов

Статистическое регулирование технологического процесса представляет собой корректирование значений параметров технологического процесса по результатам выборочного контроля контролируемых параметров, осуществляемое для технологического обеспечения требуемого уровня качества продукции [2]. Корректирование параметров технологического процесса в простейших случаях может выполняться автоматически без участия человека с помощью систем автоматического регулирования. В стекольном производстве нашли широкое применение системы стабилизации, поддерживающие постоянство одной или нескольких регулируемых величин с определенной точностью при произвольно меняющихся возмущающих воздействиях. В этих системах могут использоваться принципы регулирования по отклонению, по возмущению и комбинированный принцип [42].

Примерами являются автоматическое регулирование расхода газа на горение, давления в стекловаренной печи, стабилизация скорости вращения бортоформирующих машин во флоат-ванне, регулирование температуры отжига в лере и т. д.

В параграфе будем рассматривать более сложный случай, когда корректирующее воздействие вырабатывается с участием человека на основе статистического анализа выходных показателей технологического процесса. Такие системы являются человеко-машинными, т. е. автоматизированными. Решение той или иной проблемы проводится по следующему алгоритму [2]:

- 1) оценка отклонений параметров от установленной нормы;
- 2) выбор наиболее важных факторов, от которых зависит решение;
- 3) оценка факторов, явившихся причиной возникновения проблемы;
- 4) оценка важнейших факторов, явившихся причиной появления брака;
- 5) совершенствование процесса;
- 6) подтверждение результата.

Выявление нарушений технологического процесса основано на результатах периодического контроля малых выборок, осуществляемого по количественному или качественному признакам.

Контроль по количественному признаку рассматривался в предыдущем параграфе главы 3. Анализ выборочных статистик, например среднего значения и размаха, позволяет принимать решения о состоянии технологического процесса и оценить величину отклонения параметров от установленных норм.

Контроль по альтернативному признаку позволяет установить факт соответствия или несоответствия параметра установленным требованиям. Решение о состоянии технологического процесса принимается в зависимости от числа дефектов или числа дефектных единиц продукции, обнаруженных в выборке.

Первый способ контроля отличается тем, что он является более информативным, но более сложен в реализации. Контроль по альтернативному признаку отличается своей простотой, но обладает меньшей информативностью. С учетом изложенного проводится выбор того или иного способа контроля для статистического регулирования технологического процесса.

Рассмотрим некоторые статистические методы регулирования технологических процессов в производстве листового стекла при контроле по количественному признаку. При контроле по количественному признаку о разладке технологического процесса судят как по среднему значению контролируемого параметра, так и по рассеиванию значений контролируемых параметров относительно этого среднего значения. Смещение среднего относительно середины поля допуска в ту или иную сторону и увеличение рассеивания приводят к увеличению доли дефектной продукции. Построение контрольных карт в реальном масштабе времени позволяет отслеживать технологический процесс и своевременно выявлять возникающие проблемы.

Для построения любой контрольной карты необходимо предварительно определить границы регулирования, если они не заданы стандартом предприятия. В результате предварительного исследования состояния технологического процесса находят оценки параметров нормального распределения – математического ожидания и дисперсии, рассчитывают вероятную долю дефектной продукции и определяют коэффициент точности.

В качестве примера рассмотрим определение границ регулирования влажности шихты по данным работы [10]. Среднее значение влажности шихты, подаваемой на стекловарение, составляло $X_{cp}=4,3$ %, а среднеквадратичное отклонение $S_x=0,19$ %. По стандарту предприятия шихта должна иметь влажность $\mu = 4$ % с отклонениями $\pm 0,5$ % [38]. При этом верхняя и нижняя границы поля допуска составляют соответственно $X_{max}=4,5$ % и $X_{min}=3,5$ %. Рассчитаем вероятную долю шихты, поданную на стекловарение с отклонениями, превышающими поле допуска:

$$P = 1 - \Phi((X_{max} - \mu)/S_x) + \Phi((X_{min} - \mu)/S_x) = 1 - \Phi((4,5-4,3)/0,19) + \Phi((3,5-4,3)/0,19) = 0,142;$$

$$P = 14,2 \text{ \%}.$$

Доля шихты, подаваемой на стекловарение с отклонениями от влажности, составила 14,2 %. Эта величина зависит от допуска, а также от значений математического ожидания и дисперсии изменения влажности шихты.

Коэффициент точности технологического процесса увлажнения шихты:

$$K_T = 6 \cdot S_x / (X_{max} - X_{min}) = 6 \cdot 0,19 / 1 = 1,14.$$

Поскольку $K_T = 1,14 > 0,98$, то анализируемый технологический процесс по точности попадает в число нестабильных процессов.

Если технологический процесс увлажнения шихты признать нестабильным, то следует попытаться каким-то образом улучшить его, а затем вновь определить K_T .

В рассматриваемом примере качество подготовки шихты можно улучшить путем корректировки уставок системы автоматического регулирования. Средняя влажность подготавливаемой шихты должна совпадать с заданием, равным 4 %. При той же стабильности технологического процесса увлажнения доля шихты с отклонениями от заданий составит существенно меньшую величину, равную 0,9 %.

Оценка факторов, являющихся причиной возникновения проблемы, и выбор наиболее важных факторов для совершенствования технологического процесса может проводиться с использованием графических и аналитических методов. Для графического анализа могут использоваться ленточный график, Z-образный график [2], график с областями, диаграмма разброса и др. В качестве примера рассмотрим график с областями

(рис. 3.10), построенный для статистического анализа бракованных листов на столах резки (роботах).

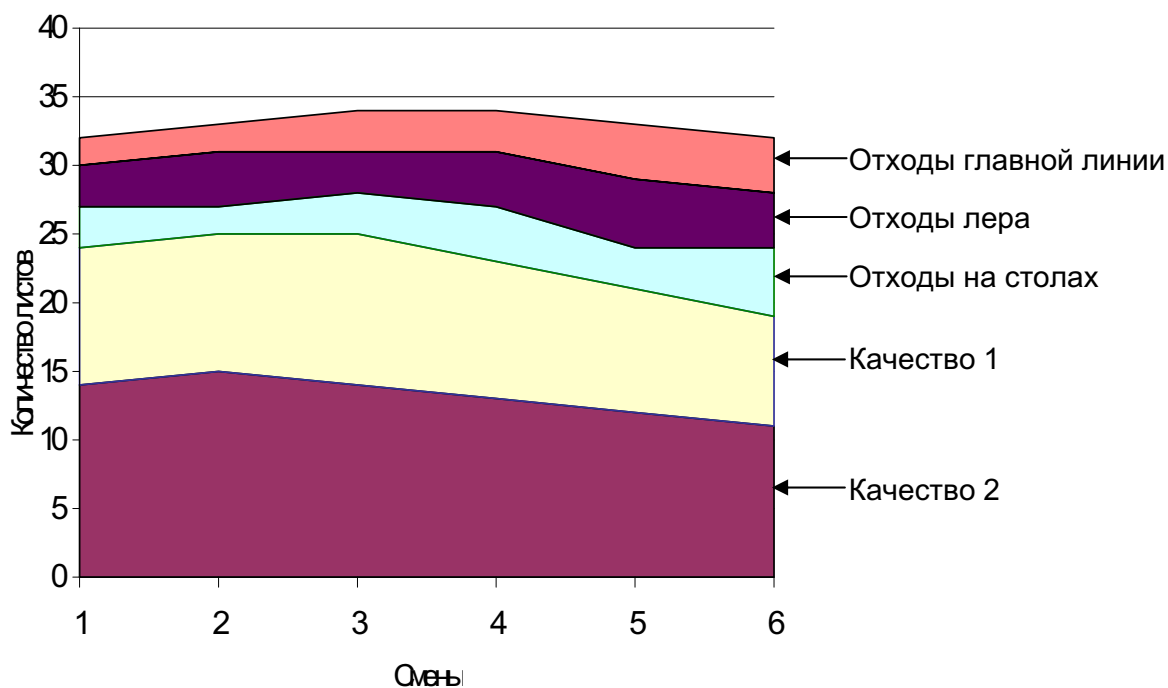


Рис. 3.10. Сменные отходы листов стекла по видам дефектов на резном столе (роботе)

График отображает как изменение общего количества бракованных листов, так и изменение вклада отдельных видов брака по сменам. Из графика видно, что доля отхода листов по качеству 2 по сменам уменьшается. Их доля в первую смену составляла 47,7 %, а в шестую – 34,4 %. То же самое можно сказать о суммарных отходах по качеству 2 и 1. Их доля уменьшилась с 75 до 59,4 %. Одновременно наблюдается рост отходов на столах (с 9,4 до 15,6 %), отходов лера (с 9,4 до 12,5 %), отходов главной линии (с 6,2 до 12,5 %). Из анализа графика можно сделать вывод, что качество варки стекла и формования ленты листа улучшилось, но увеличилось количество дефектных листов на столах, при отжиге в лере и на главной линии. Сюда необходимо направить усилия на выявление причин и уменьшению их влияния на качество вырабатываемого стекла.

Диаграммы разброса применяются для исследования вероятностной зависимости между двумя видами данных, например для анализа зависимости плотности вырабатываемого стекла от режима варки, разнотолщин-

ности от режима формования ленты в ванне с расплавом олова, остаточных напряжений в стекле от режима отжига, и т. д.

Диаграмма разброса используется для выявления причинно-следственных связей показателей качества и влияющих факторов. Диаграмма разброса строится как график зависимости между двумя параметрами. Если на этом графике провести линию медианы, то такой график позволяет определить наличие между этими двумя параметрами корреляционной зависимости (рис. 3.11).

На рисунке 3.11 отображена диаграмма рассеивания плотности вырабатываемого стекла линией ЛПС-2 в течение 2000 года и температурный режим варки, измеренной в квельпункте стекловаренной печи. График отображает стохастическую (вероятностную) обратную связь, показывает уменьшение средней плотности вырабатываемого стекла с ростом температуры варки [10]. Теснота этой связи оценивается коэффициентом корреляции, который для анализируемого случая составил $-0,4$.

Основное назначение, которое находит теория корреляции, относится к решению задачи обоснования прогноза, т. е. указания пределов, в которых с заранее заданной вероятностью будет содержаться интересующая исследователя величина, если другие связанные с ней величины получают определенное значение [40].

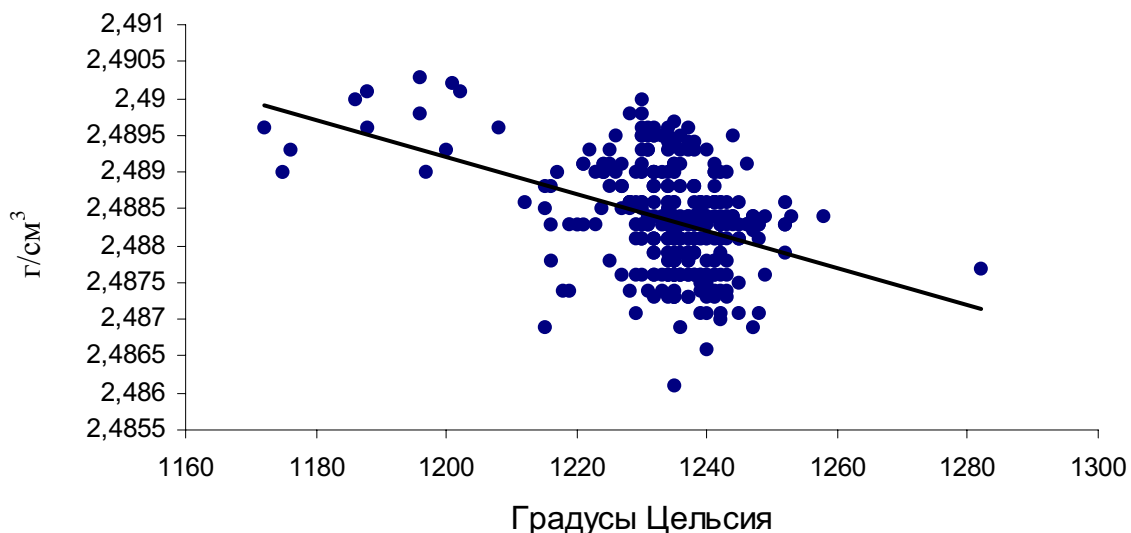


Рис. 3.11. Диаграмма рассеивания наблюдений плотности вырабатываемого стекла и температуры стекломассы в квельпункте стекловаренной печи

Так, нас интересовало влияние температуры варки на плотность выработываемого стекла. Для оценки чувствительности строится уравнение регрессии, из которого получаем изменение плотности на $0,0003 \text{ г/см}^3$ при коррекции средней температуры стекломассы на $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рассмотренные статистические методы регулирования с контролем по количественному признаку можно использовать в производстве стекла для регулирования:

- 1) рецепта шихты;
- 2) категоричности (сортности) шихты;
- 3) влажности шихты;
- 4) температуры стекломассы в ванной печи;
- 5) избытка воздуха по горелкам;
- 6) температуры олова в пролетах флоат-ванны;
- 7) состава газовой среды во флоат-ванне;
- 8) положения ленты стекла на расплаве олова в процессе формования и т. д.

При контроле по альтернативному признаку о нарушениях технологического процесса судят либо по числу дефектных единиц продукции (дефектных листов, поступающих в бункер брака), либо по числу дефектов (данным лазерных дефектоскопов). Увеличение любых из этих значений сверх допустимых норм свидетельствует о нарушениях (разладке) технологического процесса.

При контроле по альтернативному признаку используются следующие виды контрольных карт [2]:

- числа дефектных единиц продукции;
- числа дефектов;
- доли дефектной продукции;
- числа дефектов на единицу продукции.

Статистическое регулирование с помощью этих контрольных карт осуществляется в соответствии с планом контроля.

План контроля определяет объем выборки, браковочное число, которым устанавливается положение границы регулирования, и период отбора выборок. План составляется после проведения предварительных ис-

следований состояния технологического процесса. Чем меньше средний уровень дефектности и чем реже происходят нарушения, тем лучше состояние технологического процесса. Средний уровень дефектности можно оценивать по результатам выборочного или сплошного контроля. Выборочный контроль организуют таким образом, чтобы отобранные пробы объективно отображали состояние технологического процесса (необходимо исключать явно ненормальные условия производства).

По результатам предварительного исследования строится контрольная карта дефектности, отражающая изменение во времени качества вырабатываемой продукции. На карте отмечают средний уровень дефектности. По колебаниям графика относительно среднего уровня судят о стабильности исследуемого технологического процесса (график аналогичен рис. 3.9).

После предварительного исследования состояния технологического процесса выбирают план контроля: устанавливают допустимый уровень дефектности и для случая выборочного контроля – объем контролируемой партии [2].

Значение допустимого уровня дефектности устанавливают исходя из требований, предъявляемых к качеству готовой продукции. По среднему уровню дефектности определяют границу регулирования.

Используя контрольные карты, осуществляют статистическое регулирование технологическим процессом аналогично вышеописанному.

В тех случаях, когда трудно обнаружить причины нарушения технологического процесса, для их выявления пользуются методом, предложенным Каору Исикавой в 1953 г. [1]. Схему Исикава называют диаграммой причин и результатов, диаграммой «рыбий скелет», «деревом» и т. д.

Диаграмма состоит из показателя качества, характеризующего результат, и факторных показателей. Технологический процесс представляется как взаимодействие четырех факторов [2]: материалы, оборудование,

оператор, метод операций. На рис. 3.12 в качестве примера приведена структурная схема причинно-следственной диаграммы.

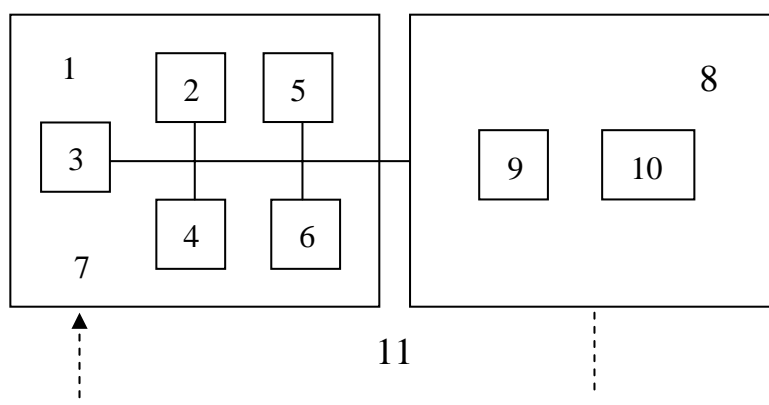


Рис. 3.12. Структурная схема причинно-следственной диаграммы

1 – система причинных факторов; 2 – материалы; 3 – основные факторы производства; 4 – оператор; 5 – оборудование; 6 – метод операций; 7 – процесс; 8 – следствие; 9 – характеристики качества; 10 – данные; 11 – процесс контролируется по показателям качества.

Построение диаграммы включает следующие три этапа:

- выбор основного показателя качества;
- установление главных причин, влияющих на основные показатели («крупные кости рыбьего скелета»);
- определение вторичных («средние кости») и третичных («мелкие кости») причин.

Рассмотрим пример построения причинно-следственной диаграммы отходов стекла после лера по статистическим данным работы линии ЛПС-1 в 2000 году [43]. Величину отходов стекла будем оценивать по относительному времени включения бойтельной машины в течение суток. Бойтельная машина включается для дробления отрезанных полос листа, когда их нецелесообразно подавать на раскрой.

Среднесуточное время включения в работу боительной машины в течение года составило 3,45 % со среднеквадратичным отклонением 2,7 %.

Стабильность технологического процесса варки-выработки можно оценить с помощью коэффициента вариации:

$$\delta = (S_x/X_{cp}) \cdot 100 = (2,7/3,45) \cdot 100 = 78 \%,$$

что характеризует нестабильность технологического процесса по анализируемому показателю.

Факторами, влияющими на анализируемый показатель, могут быть качество сырьевых материалов и шихта, состояние технологического оборудования, квалификация операторов, точность соблюдения технологического регламента производства стекла. Принимая, что основным влияющим фактором было нарушение технологических операций, строим «рыбью кость».

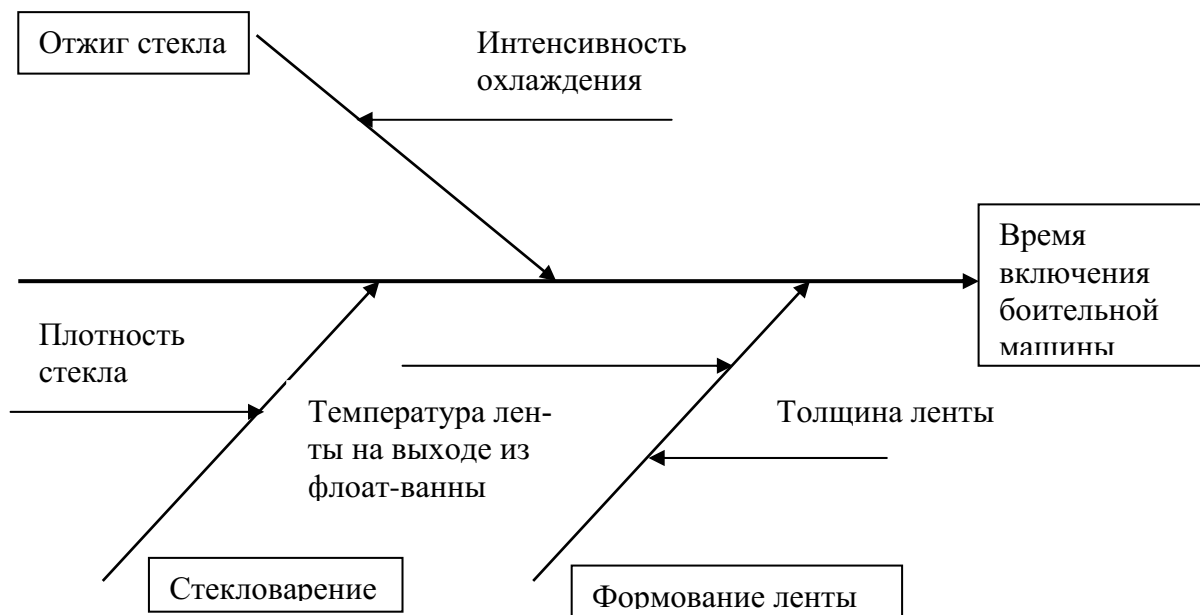


Рис. 3. 13. Причинно-следственная диаграмма боения стекла на выходе лера

Из рис. 3.13 характеристики качества ведения технологического процесса, являющиеся следствием, определяют различные причины – отжиг, формование ленты стекла на расплаве олова, стекловарение. Эти

причины являются, в свою очередь, следствием других причин: интенсивность охлаждения стекла вдоль туннеля печи и поперек ленты – для следствия отжига; толщина ленты стекла, температура ленты на выходе из флоат-ванны и др. режимные переменные – для формования стекла; плотность стекла, однородность и др. показатели стекломассы – для стекловарения и т. д.

При поиске причин надо помнить, что характеристики, являющиеся следствием, обязательно испытывают разброс. Поиск среди этих причин факторов, оказывающих особо большое влияние на разброс характеристик, т. е. результат, требует исследования.

При составлении причинно-следственной диаграммы подбирают максимальное число факторов, имеющих отношение к анализируемой характеристике.

При исследовании причин явления привлекают и третьих лиц, не имеющих непосредственного отношения к работе, так как у них может возникнуть неожиданный подход в выявлении причин недоброкачества продукции.

Наиболее эффективным считается групповой метод анализа причин, называемый «мозговым штурмом». При использовании метода «мозгового штурма» для выявления причин возникновения проблемы необходимо [2]:

- обеспечить атмосферу для свободного высказывания членами группы мнения по поводу причин возникновения проблемы;
- исключать бесплодные разговоры, ценя идеи и сознательное оперирование фактами;
- лицам руководящего состава никогда не высказываться первыми и др.

Часто диаграммы «рыбья кость» строятся одновременно со столбиковыми диаграммами Парето. Это позволяет ускорить поиск влияющих факторов на качество вырабатываемой продукции.

ГЛАВА 4

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

4.1. Особенности управления производством полированного стекла

Производство листового стекла является основным этапом в жизненном цикле продукции, определяющим его качество. Характеризуется крупнотоннажностью, стационарностью и непрерывностью во времени.

Особенность процесса производства стекла флоат-способом в том, что технологический процесс протекает в нескольких производственных цехах: подготовки шихты, горячего стекла, холодного стекла, после чего стекло поступает на склад готовой продукции. Упрощенная структурная схема производственного объединения «Полированное стекло» ОАО «Борский стекольный завод» приведена на рис. 4.1.

В цехе приготовления шихты установлены четыре дозировочно-смесительных линии (ДСЛ) с учетом резерва на случай аварийных остановок или выполнения работ, предусмотренных графиком планово-предупредительных ремонтов. Производство рассчитано на приготовление высококачественной шихты для флоат-линий в объеме до 1000 т в сутки на трех линиях. Все транспортные потоки и ДСЛ максимально автоматизированы – функционирует АСУ ТП шихты.

В цехе горячего стекла работают две линии варки-выработки производительностью 600 и 550 т листового полированного стекла в сутки. Технологический процесс варки-выработки автоматизирован: функционирует компьютерная система мониторинга технологического процесса производства PI, АСУ ТП варки, выработки и отжига ленты стекла.

Технологический процесс резки и раскроя ленты стекла роботизирован, внедрена автоматизированная система контроля качества вырабатываемого стекла система КИС.

Склад готовой продукции механизирован, оснащен средствами механизации упаковочных, погрузочно-разгрузочных работ. Функционирует автоматизированная система АСУТП склада.

Высокий уровень автоматизации процессов на всех стадиях жизненного цикла стекла, продуманная организационная структура завода, информационная оснащенность менеджмента позволяют вырабатывать полированное стекло высокого качества.

Требуемое качество шихты, качество резки и раскроя стекла, упаковка листов, складирование и хранение обеспечиваются методами статистического контроля, которые рассматривались в третьей главе монографии. Использование этих методов для управления технологическими процессами варки-выработки является недостаточным ввиду сложности протекающих процессов. Здесь необходимо применять методы статистического управления технологическими процессами [10]. Рассмотрению методов статистического управления посвящается данная глава.

Технологический процесс варки-выработки протекает в цепочке последовательно соединенного оборудования: в ванной стекловаренной печи, в ванне с расплавом олова и туннельной печи отжига. Между стадиями процесса устанавливаются жесткие технологические и балансовые связи. Баланс материального потока обеспечивается согласованием производительности ванной стекловаренной печи, скорости бортоформирующих машин флот-ванны, скорости транспортных линий со скоростью выработки ленты стекла заданных геометрических размеров. Технологические связи требуют согласования режимов работы основного технологического оборудования, и поддержания их в заданных пределах в соответствии с требованиями стандарта предприятия с учетом их влияния на качественные показатели вырабатываемого стекла.

Качество вырабатываемого стекла зависит от многих факторов: и контролируемых в процессе производства, и тех факторов, которые не контролируются и представляют собой возмущающие воздействия. К контролируемым относятся факторы, о значении которых мы знаем по результатам измерений или данным лабораторных анализов. К их числу относятся режимные переменные работы технологического оборудования, образующие управляющие воздействия. С помощью управляющих воздействий осуществляется корректирование технологического процесса для получения стекла требуемого качества.

Показатели качества листового стекла в процессе непрерывного производства описываются математическими моделями случайных процессов. Поэтому для управления качеством вырабатываемого стекла необходимо пользоваться *теорией управления случайными процессами*. Эта теория изучает проблемы оптимизации систем, поведение которых описывается случайными процессами, что имеет место в производстве листового стекла.

Для выработки управляющих воздействий необходимо установить связи между показателями качества стекла, имеющими случайный характер, и контролируруемыми факторами в процессе производства. При этом среди контролируемых факторов должны быть режимные переменные для осуществления корректирующего воздействия на работу технологического оборудования с целью получения стекла заданного качества. Для получения такой зависимости применяется регрессионный анализ [10].

4.2. Описание показателей качества листового стекла регрессионными уравнениями

Задача исследователя по созданию математической модели состоит в отыскании связи между показателями качества стекла и контролируемыми факторами. Так как результаты измерений этих показателей являются случайными величинами, то имеет смысл говорить о связи средних значений исследуемых переменных.

Приступая к поиску, исследователь располагает различной априорной информацией. Наиболее простым является случай, когда известен вид зависимости, и необходимо уточнить неизвестные параметры функции.

В работе использована методика выбора структуры регрессионных моделей, основанная на статистическом анализе экспериментальных данных, собранных с технологической линии, и использовании информации о технологическом процессе.

Регрессионный анализ нашел применение для описания наиболее простых зависимостей, линейных и квадратичных.

Технологический процесс производства стекла характеризуется стационарностью. Режимные переменные процесса и показатели качества стекла изменяются в довольно ограниченном диапазоне. Поэтому с достаточным приближением зависимость показателя качества от режимных

переменных можно считать линейной. Это позволяет использовать для описания интересующих связей линейные уравнения регрессии следующего вида:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k, \quad (4.1)$$

где Y – зависимая переменная, показатель качества стекла;

b_j – неизвестные параметры, называемые регрессионными коэффициентами, $j = 0, 1, 2, \dots k$;

X_j – независимые переменные факторы, влияющие на качество стекла, $j = 1, 2, \dots k$;

k – число основных влияющих факторов, их количество обычно не более 3 – 5.

Для получения модели (4.1) необходимо собрать экспериментальные данные $y_i(x_{1i}, x_{2i}, \dots x_{ki})$, $i = 1, 2, \dots n$, их количество должно во много раз превышать число рассматриваемых факторов. По данным выборки находят статистические оценки неизвестных параметров модели (4.1), проверяют ряд статистических гипотез относительно найденных оценок и адекватность полученной модели.

Простота найденной модели и ее точность во многом зависят от количества факторов и числа регрессионных коэффициентов, входящих в структуру модели. При неадекватной модели, как в случае “недобора” регрессионных коэффициентов, так и в случае их “перебора”, вероятность получить адекватную структуру уменьшается. Обычно при формировании модели оптимальной структуры стремятся минимизировать количество вводимых в модель регрессионных коэффициентов.

Отбор влияющих факторов проводится на основе статистического анализа результатов предварительного планирования экспериментов и библиографического анализа информации о влиянии режимных переменных, состава шихты, окружающей среды и других факторов на технологический процесс.

4.2.1. Зависимость характеристик вырабатываемого стекла от режима варки-выработки

Плотность полированного стекла

Плотность является важной характеристикой, определяющей свойства стекла, и зависит от многих факторов: химического состава стекла, теплового режима работы ванной печи, предварительной обработки шихты и др. Плотность чутко реагирует на отклонения технологического процесса варки стекла, и по ее изменению судят о состоянии производства. В параграфе описывается зависимость плотности вырабатываемого стекла от состава шихты и режима работы стекловаренной печи.

Контроль теплового режима стекловарения в печи ведется по показаниям термопар, установленным в различных зонах печи: в своде – для контроля температуры газовой среды, на дне ванны – для контроля температуры стекломассы.

Состав загружаемой шихты контролируется по результатам лабораторных анализов один раз в сутки. По загрузке шихты и боя в бункер оценивается весовое соотношение между шихтой и боем, поступающими в печь.

Плотность вырабатываемого стекла определяется в пробах, отбираемых с готовой ленты стекла. Анализы проводятся с периодичностью один раз в сутки. Результаты анализа из центральной заводской лаборатории поступают на производство со значительным запаздыванием в одни – двое суток, а в выходные и праздничные дни – до 4 суток. Погрешность измерения плотности по данным ЦЗЛ составляет $(2 - 4) \times 10^{-4}$ г/см³.

Контроль шихты на производстве сводится в основном к проверке соответствия состава шихты заданному рецепту и проверке степени ее однородности. Допускаемое отклонение отдельных компонент в шихте не должно превышать ± 1 % по массе и $\pm 0,5$ % по содержанию влаги. Погрешность дозирования компонент определяется погрешностью весодозаторов, которая находится в пределах $\pm 0,2$ %.

Эквивалентные времена запаздывания по входным каналам оценивались по данным корреляционного анализа.

В результате проведенного анализа получено следующее уравнение регрессии:

$$\begin{aligned} \text{Пл}(t) = p_0 + p_1\theta_{\text{см1}}(t - 9) - p_2\theta_{\text{см2}}(t - 10) - p_3\theta_{\text{см3}}(t - 9) + \\ + p_4C_{\text{Fe2O3}}(t) - p_5H(t - 5), \end{aligned} \quad (4.2)$$

где $p_0 - p_5$ – коэффициенты регрессии, t – время в сутках.

Точность полученного уравнения регрессии оценивается остаточной дисперсией $S^2_{\text{ост}} = 20,5 \cdot 10^{-8} \text{ (г/см}^3\text{)}^2$ и коэффициентом множественной корреляции $R = 0,74$.

Приведем интерпретацию коэффициентов полученной модели. Донная термопара, установленная по оси третьей пары горелок, измеряет температуру стекломассы $\theta_{\text{см2}}$ в начале восходящего потока зоны квельпункта. Увеличение температуры газовой среды в квельпункте приводит к увеличению температуры стекломассы по показаниям донной термопары. При этом будет наблюдаться возрастание градиента температур по толщине стекломассы, который интенсифицирует термодиффузионные процессы. Под действием термодиффузии более тяжелые компоненты стекломассы перемещаются в область низких температур, уменьшая тем самым плотность стекломассы верхнего потока, поступающего на выработку. Кроме того, более прогретая стекломасса верхнего потока обладает меньшей вязкостью, чем нижние слои. Тяжелые компоненты расплава под действием сил тяжести будут более интенсивно покидать слой стекломассы с низкой вязкостью. Вверх будут вытесняться легкие компоненты, например обогащенные оксидом кремния SiO_2 .

Конвекция стекломассы в ваннных печах играет основную роль в процессах гомогенизации. С увеличением температуры в квельпункте интенсифицируются процессы естественной конвекции в ванной печи. Выше описанный характер влияния $\theta_{\text{см2}}$ на плотность вырабатываемого стекла подтверждается знаком минус коэффициента регрессии.

Показания термопары, расположенной в придонных слоях в районе первой пары горелок, используются для контроля температуры $\theta_{\text{см1}}$ в зоне загрузки шихты и косвенного определения границы варки.

В разработанных моделях время запаздывания по каналу температуры $\theta_{\text{см1}}$ составило 9 сут, которое можно объяснить низкой скоростью потока стекломассы нижней ветви сыпчного цикла. Положительный знак коэффициента регрессии при температуре $\theta_{\text{см1}}$ согласуется с исследованиями

ми, ранее выполненными Зуевым К.И. Для повышения плотности расход газа и температура $\theta_{см1}$ увеличиваются.

Знак минус коэффициента регрессии при температуре в конце зоны варки $\theta_{см3}$ отражает уменьшение плотности вырабатываемого стекла с ростом этой температуры. С ростом температуры скорость конвекции в выработочном цикле несколько уменьшается. Температура верхних слоев стекломассы возрастает, что приводит к возрастанию температурного градиента по толще стекломассы. Одновременно уменьшается вязкость верхнего слоя стекломассы. Все это приводит к возрастанию термической и гравитационной диффузии. Более тяжелые компоненты будут переходить в нижние слои, а в выработочном потоке останутся более легкие составляющие. На выработку будет поступать стекломасса меньшей плотности.

Для повышения точности в структуру модели были включены переменные, характеризующие химический состав вырабатываемого стекла. Нерастворимые осадки в шихте Н в основном определяются процентным содержанием оксида кремния как легкого компонента в составе стекла. С увеличением нерастворимых осадков уменьшается плотность вырабатываемого стекла, на что указывает знак минус при коэффициенте регрессии.

С увеличением содержания оксида железа (III) в стекле $C_{Fe_2O_3}$ плотность возрастает, на что указывает знак плюс при соответствующем коэффициенте.

Коэффициент взаимной корреляции щелочности шихты и плотности незначим, поэтому включение щелочности в структуру модели не приводит к повышению ее точности.

Разработанная линейная модель достоверно описывает плотность вырабатываемого стекла через режимные переменные стекловаренной печи и состав шихты. Коэффициенты уравнения регрессии и знаки согласуются с теоретическими представлениями влияния рассматриваемых переменных на плотность вырабатываемого стекла.

Однородность стекла

Важным физическим свойством стекла является его однородность. Однородность определяет термическую и химическую устойчивость стекла, его кристаллизационную способность, склонность к образованию по-

сечек и разрушению стекла при резке и раскрое. На производстве уделяют большое внимание контролю однородности вырабатываемого стекла, так как сохранение постоянства (стабильности во времени) однородности и состава стекла способствует улучшению качества и повышению в целом эффективности производства. Однородность технических стекол измеряется методом деления порошка по плотности. Точность измерения однородности оценивается величиной абсолютной погрешности 0,1 град. Периодичность определения однородности – один раз в сутки.

Структура модели однородности выбиралась с учетом особенностей технологии варки стекла в ваннах печах, а также статистической зависимости между однородностью и плотностью стекла. Вероятностная связь между однородностью и плотностью характеризуется коэффициентом взаимной корреляции, равным минус 0,46 [44]. Расчетный коэффициент корреляции значим при уровне значимости 0,05, что подтверждает существующую вероятностную связь между однородностью и плотностью. Это позволяет выбрать структуру модели однородности по виду модели плотности. С учетом влияния на однородность стекла колебаний производительности печи в модель был добавлен фактор суточного изменения производительности по варке стекломассы ΔG . С учетом внесенных корректировок структура модели однородности стекла приняла следующий вид:

$$\begin{aligned} \text{Од}(t) = & o_0 + o_1\Theta_{\text{см1}}(t - 9) - o_2\Theta_{\text{см2}}(t - 9) + o_3\Theta_{\text{см3}}(t - 9) - o_4H(t - 5) + \\ & + o_5C_{\text{Fe2O3}}(t) + o_6\Delta G(t - 7), \end{aligned} \quad (4.3)$$

где o_1 – o_6 – регрессионные коэффициенты; t – время в сутках.

Точность описания моделью (4.3) однородности флоат-стекла характеризуется следующими данными. Максимальная абсолютная погрешность модели не превышает 0,5 град. Среднеквадратичная погрешность модели в течение 360 суток испытаний изменялась в пределах 0,10 – 0,27 град.

Полученные точностные оценки модели и достоверное отражение регрессионными коэффициентами характера влияния входных переменных на однородность стекла позволяют использовать регрессионное уравнение (4.3) для коррекции технологического процесса варки-выработки.

Оптические искажения, видимые в проходящем свете

Оптические искажения стекла марок М0, М1, М2, М3, видимые в проходящем свете, определяются просмотром сквозь стекло экрана типа “зебра”. Погрешность определения оптических искажений по ГОСТ 111-2001 не должна превышать 5° . В соответствии с принятой на заводе методикой испытаний, показатель оптических искажений полированного стекла, определяемый по методу “зебра”, должен быть не менее 50° для стекла толщиной свыше 2,5 мм и не менее 45° для стекла толщиной менее 2,5 мм. Этот показатель определяется для каждого из трех участков (левый, центр, правый) вырабатываемой ленты стекла с периодичностью четыре часа.

Высокая степень корреляционной связи показателей искажений для всех участков ленты позволяет оценивать оптические искажения только для одного участка – левой части ленты. Для разрабатываемой модели показатель оценивается по среднесуточным значениям.

Оптические искажения флоат-стекла зависят от толщины ленты стекла и режима ее формирования на расплаве олова. Подача в зону формирования химически и термически однородной стекломассы с одинаковой вязкостью по ширине формируемой ленты исключает причины образования разнотолщинности, полосности и волнистости ленты.

Химическая однородность стекломассы обеспечивается как постоянством состава сырьевых материалов, так и условиями варки стекла. Нарушение постоянства варочных и выработочных потоков в ванной печи приводит к вовлечению в производственный поток ранее сваренной стекломассы иного состава.

Термическая однородность стекломассы, идущая на формирование листового стекла, зависит от постоянства технологических и теплотехнических параметров работы стекловаренной печи. Нарушение термической однородности стекломассы главным образом сказывается через изменение потоков стекломассы, вызываемое изменением границ шихты и варочной пены, распределением температуры по ширине и длине печи, колебанием съема стекломассы, колебанием давления газовой среды и др.

Формование ленты стекла на слое олова с высокой теплопроводностью способствует получению термически однородной стекломассы в про-

процессе формования, что благоприятно сказывается на качестве стекла. При помощи электронагревателей и водяных холодильников поддерживается необходимая температура как по длине, так и ширине флоат-ванны.

В процессе формования ленты в качестве управляющего воздействия используются мощность вторичного (повторного) нагрева ванны и количество холодильников, применяемых для охлаждения ленты. В качестве определяющих переменных выбраны режимные переменные стекловаренной печи и флоат-ванны, а также возмущающие воздействия по составу шихты, изменению толщины вырабатываемого стекла и производительности технологической линии по выработке стекла.

Температурный режим ванны с расплавом олова контролируется при помощи термопар, установленных в первом, двенадцатом и двадцатом пролетах с левой и правой сторон ванны. Показания термопар в пролетах по сторонам ванны сильно коррелированы. Поэтому контроль температуры в пролетах можно проводить по показаниям одной из боковых термопар.

Использование метода направленного перебора входных переменных, учет апостериорных данных о вероятностных связях между входными переменными и волнистостью вырабатываемого стекла позволили получить линейное уравнение регрессии следующей структуры:

$$Z_b(t) = z_0 + z_1 \delta(t) - z_2 P_{\text{пн}}(t) - z_3 \theta_{\text{см2}}(t) . \quad (4.4)$$

Остаточная сумма квадратов модели составила $S^2_{\text{ост}}=8,6$ ($^{\circ}$)², коэффициент множественной корреляции равен $R=0,81$.

Дадим интерпретацию полученной модели (4.4). Модуль коэффициента при входной переменной отражает ее влияние на выходную переменную – показатель оптических искажений стекла. Наибольшая зависимость прослеживается между оптическими искажениями и толщиной ленты стекла. Чем толще вырабатываемая лента (δ), тем более однородна стекломасса и тем меньше оптических искажений. Это подтверждается положительным знаком коэффициента регрессии при $\delta(t)$. С увеличением толщины возрастает показатель искажений, измеряемый по методу “зебра”, что соответствует малым оптическим искажениям.

Увеличение мощности повторного нагрева приводит к увеличению температуры олова в зоне формования. С ростом температуры олова уменьшается вязкость стекла. При этом в процессе формования под воз-

действием растягивающих усилий лента деформируется больше, что приводит к возрастанию волнистости стекла. На это указывает знак минус перед коэффициентом регрессии при мощности повторного нагрева $P_{\text{пн}}$.

Увеличение температуры стекломассы в квельпункте стекловаренной печи $\theta_{\text{см2}}$ приводит к нарушению установившихся скоростей конвекционных циклов. На выработку будет поступать стекломасса из придонных слоев печи. При этом будет нарушаться термическая и химическая однородность стекломассы, поступающей на выработку. Это приводит к росту оптических искажений формуемой ленты, на что указывает знак минус коэффициента регрессии при температуре стекломассы.

Приведенная интерпретация влияния входных переменных на оптические свойства листового стекла, измеряемые по методу “зебра”, согласуется с технологическими представлениями влияния режимных переменных, управляющих и возмущающих воздействий на оптические искажения, что подтверждает достоверность разработанной модели.

Оптические искажения, видимые в отраженном свете

Оптические искажения, видимые в отраженном свете, регламентируются ГОСТ 111 [8] для стекол марок М0 – М3. Не допускаются отклонения показателя отраженного раstra более 3-7 мм для соответствующих марок стекол.

Методика определения показателя раstra заключается в проецировании на экран картины из равноотстоящих полос (раstra) после отражения от поверхности контролируемого образца стекла и измерении наибольших отклонений шага раstra.

На оптические искажения большое влияние оказывает режим формования ленты стекла в флоат-ванне. Для выбора влияющих факторов проводился корреляционный анализ между режимными переменными, характеризующими процесс формования ленты, и качеством ленты, оцениваемым величиной раstra. В результате статистического анализа экспериментальных данных получено уравнение регрессии следующей структуры:

$$Pa(t) = b_0 + b_1\Theta_k(t) - b_2\Theta_{\text{ол12}}(t) + b_3\Theta_{\text{ол20}}(t) + b_4\delta(t), \quad (4.5)$$

где $b_0 - b_4$ – коэффициенты регрессии; t – время в сутках.

Точность регрессионной модели оценивается остаточной дисперсией, равной $S_{\text{ост}}^2 = 4,8 \text{ мм}^2$. Приведем интерпретацию полученных регрессионных коэффициентов. Увеличение температуры стекломассы, подаваемой в флоат-ванну (температуры в канале) Θ_k , и температуры олова в двадцатом пролете $\Theta_{\text{ол}20}$ отрицательно влияют на формуемую ленту, увеличивая значения отраженного раstra. На это указывают положительные знаки коэффициентов регрессии b_1 и b_3 при соответствующих температурах. Повышение температуры олова в среднем 12-м пролете $\Theta_{\text{ол}12}$ оказывает положительное влияние на качество ленты стекла – уменьшается показатель раstra (коэффициент регрессии b_2 имеет отрицательный знак). Более толстое стекло имеет большие значения данного показателя оптических искажений, на это указывает положительный знак коэффициента регрессии b_4 при толщине стекла δ .

Приведенная интерпретация модели согласуется с технологическими аспектами процесса формования ленты стекла в флоат-ванне, что позволяет использовать полученное регрессионное уравнение для выработки корректирующих действий.

Остаточные внутренние напряжения стекла

В процессе отжига стекла контроль остаточных напряжений проводится по пробам, отбираемым в пяти участках по ширине ленты: левый край, левый, центр, правый, правый край. Высокая коррелированность измеряемых данных позволяет использовать в качестве импульса для оценки остаточных напряжений среднюю арифметическую величину по пяти измерениям [12].

Влияние на остаточные напряжения в стекле возмущающих воздействий, вызываемых изменением толщины вырабатываемого стекла, скорости вытягивания ленты, температуры ленты, поступающей на отжиг, плотности стекла оценивалось с помощью корреляционного анализа данных, собранных с технологической линии.

Среди анализируемых воздействий имеются сильно коррелированные переменные, такие как толщина – скорость вытягивания – производительность и температура в 20-м пролете ванны расплава – температура ленты на выходном конце ванны. Поэтому в структуре модели учитывались из числа коррелированных переменных: толщина, скорость вытягивания и температура стекла на выходе из ванны расплава.

Температурный режим отжига в каждой зоне печи отжига контролируется при помощи пяти сводовых термопар, установленных по ширине печи. Температура в зонах стабилизируется системами автоматического регулирования за счет подачи воздуха в зоны со стороны свода и пода. Ввиду сильной коррелированности температур в зонах по ширине ленты состояние процесса отжига контролируется по температурам в центрах зон.

Режим отжига стекла определяется видом кривой изменения температуры вдоль туннеля печи, которую можно аппроксимировать линейным регрессионным уравнением вида:

$$\Theta = a_0 - a_1 x, \quad (4.6)$$

где Θ – температура режима отжига по зонам, a_0 – свободный член уравнения, a_1 – коэффициент уравнения, x – координаты расположения термопар по зонам печи вдоль продольной оси.

Структура уравнения регрессии, описывающего зависимость остаточных напряжений от режима отжига и возмущающих воздействий, после отбрасывания незначимых факторов, приняла вид:

$$\sigma = n_0 + n_1 \delta + n_2 v - n_5 a_1, \quad (4.7)$$

где σ – остаточные напряжения в ленте стекла; δ – толщина ленты стекла; v – скорость выработки ленты стекла; a_1 – коэффициент наклона кривой отжига; n_0, n_1, n_2, n_5 – регрессионные коэффициенты.

Точность описания выбранными факторами остаточных напряжений в стекле характеризуется множественным коэффициентом корреляции, равным $R^2 = 0,86$.

Приведем интерпретацию полученной модели. Положительные коэффициенты n_1, n_2 указывают на увеличение остаточных напряжений в стекле с увеличением толщины ленты стекла и возрастанием скорости вытягивания. Отрицательный знак коэффициента n_5 при интенсивности охлаждения стекла в процессе отжига a_1 отражает возрастание остаточных напряжений в стекле с увеличением скорости охлаждения.

На остаточные напряжения наибольшее влияние оказывает изменение толщины ленты стекла, затем, скорость вытягивания, и в меньшей степени – интенсивность охлаждения ленты в печи отжига.

На колебания величины остаточных напряжений в стекле наибольшее влияние оказывают изменения толщины ленты стекла и скорости выработки. Незначительные колебания интенсивности охлаждения практически не оказывают влияния на остаточные напряжения.

4.2.2. Отклонения параметров ленты стекла в процессе варки-выработки

Отклонение от плоскостности листа стекла

ГОСТ 111 –2001 определяет требования к допустимой величине отклонений от плоскостности листа, которая не должна превышать 0,1 % длины наименьшей стороны листа. Отклонение от плоскостности оценивается по величине зазора между исследуемой поверхностью стекла и эталонной поверхностью.

На величину отклонения от плоскостности (кривизну стекла) существенное влияние оказывает режим отжига движущейся ленты стекла в печи отжига. Для разработки уравнения регрессии, описывающего зависимость кривизны ленты стекла от режима отжига, проводился корреляционный анализ показателей работы печи отжига.

Для анализа была выбрана линейная структура модели с пятью факторами: толщина стекла δ , скорость вытягивания ленты v , температура ленты на выходе из ванны расплава $\Theta_{\text{вых}}$, плотность стекла Пл , интенсивность охлаждения в печи отжига a_1 . По результатам регрессионного анализа были отброшены незначимые факторы. В результате получена математическая модель кривизны ленты стекла следующего вида:

$$K = -k_1\delta + k_3\Theta_{\text{вых}} - k_4 \text{Пл}, \quad (4.8)$$

где K – кривизна ленты стекла; δ – толщина ленты стекла; $\Theta_{\text{вых}}$ – температура ленты стекла на выходном конце ванны расплава; k_1, k_3, k_4 – коэффициенты регрессии.

Точность описания уравнением (4.8) экспериментальных данных характеризуется множественным коэффициентом корреляции, равным $R^2 = 0,87$, и остаточной дисперсией 0,0001.

Приведем интерпретацию полученного уравнения. Отрицательный коэффициент k_1 при толщине стекла указывает на уменьшение кривизны с ростом толщины ленты. С увеличением температуры ленты, поступающей

на отжиг, возрастает кривизна отжигаемого стекла, на что указывает положительный знак коэффициента k_3 . Отрицательный знак коэффициента k_4 характеризует уменьшение кривизны ленты с ростом плотности стекла. Как правило, стекло большей толщины имеет более высокую плотность, чем тонкое стекло. Это подтверждается также отрицательными знаками коэффициентов модели k_1 и k_4 . Приведенная интерпретация согласуется с технологией процесса отжига.

Статистический анализ полученного уравнения регрессии позволил выявить сильное влияние температуры ленты стекла на выходном конце и плотности на кривизну стекла. Толщина ленты стекла оказывает меньшее влияние.

Анализ вклада в дисперсию кривизны ленты стекла показал, что наибольшее влияние на дисперсию кривизны стекла оказывают колебания толщины и температуры ленты стекла на выходном конце. Плотность вырабатываемого стекла стабилизируется, и ее влияние практически незначимо.

Полученное уравнение регрессии (4.8) достоверно описывает зависимость кривизны ленты стекла от режима работы технологического оборудования.

Разнотолщинность листа стекла

Разнотолщинность зависит от номинальной толщины листа и не должна превышать 0,1 мм для стекол толщиной от 2 до 4 мм, 0,2 мм – для стекол 5, 6, 7 мм и 0,3 мм – для стекол толщиной 8, 10 мм [8]. Разнотолщинность листа зависит от режима формования ленты стекла во флоат-ванне. Для отбора влияющих факторов проводился статистический анализ экспериментальных данных по оценке тесноты корреляционной связи между режимными переменными и разнотолщинностью. В результате анализа отобраны значимые режимные переменные, которые вошли в структуру регрессионной модели:

$$P_T(t) = r_0 - r_1 V_1(t) + r_2 \delta(t) + r_3 \Theta_{ол1}(t) - r_4 \Theta_{ол12}(e) + r_5 \Theta_{ол20}(t), \quad (4.9)$$

где $r_0 - r_5$ – коэффициенты регрессии; t – время в сутках.

Точность описания величины разнотолщинности вырабатываемого стекла регрессионным уравнением (4.9) оценивается остаточной дисперсией, равной $S_{ост}^2 = 0,0018 \text{ мм}^2$.

Приведем интерпретацию полученного уравнения регрессии. Обычно скорость бортоформирующих машин устанавливается несколько меньшей скорости движения ленты для создания растягивающих усилий при выработке тонких листов стекол. Увеличение скорости первой бортоформирующей машины V_1 приводит к уменьшению прилагаемых к стеклу усилий, а следовательно, к меньшей деформации, вызывающей разнотолщинность. На это указывает отрицательное значение коэффициента регрессии r_1 при режимной переменной V_1 . Для толстых стекол характерно большее значение разнотолщинности, что отражает положительный коэффициент регрессии r_2 при толщине стекла δ . Температура олова в пролетах ванны расплава оказывает разное воздействие на разнотолщинность. Так, возрастание температуры олова в первом $\Theta_{ол1}$ и последнем $\Theta_{ол20}$ пролетах приводит к увеличению величины разнотолщинности формуемой ленты стекла, а температуры в среднем пролете $\Theta_{ол12}$ – к уменьшению разнотолщинности. Такой характер зависимости отражают знаки коэффициентов регрессии r_3 – r_5 при соответствующих температурах олова в пролетах флоат-ванны. Приведенная интерпретация не противоречит технологии процесса формирования ленты стекла на расплаве олова. Полученная регрессионная зависимость (4.9) может использоваться при статистическом управлении технологическим процессом в флоат-ванне.

4.2.3. Зависимость содержания пороков в листовом стекле от режима варки-выработки

Дефекты листового стекла достаточно многочисленны. Классификация и определения основных пороков приведены в Приложении А ГОСТ 111. Причины возникновения пороков описаны в [45]. Здесь рассмотрим влияние режима варки-выработки стекла и возмущающих воздействий на образование отдельных пороков.

Пороки, порождаемые процессом варки стекла

Свилы представляют собой прозрачные стекловидные нити, прожилки, полосы, ленты и т.п., состоящие из стекла другого состава. Свильность вырабатываемого стекла определяют сравнением теневой картины, получаемой от эталонной свили в стандартном образце с теневой картиной от

контролируемого образца стекла при заданных условиях наблюдения. Для этих целей в ОАО “Борский стекольный завод” применяют наборы образцов с эталонными свиллями. В набор входят образцы стекла с условным показателем свильности от 0 до 7 с шагом 0,5. Абсолютная погрешность измерения степени свильности определяется дискретностью эталонов в 0,5 условных единиц. Контроль вырабатываемого стекла на свильность проводится периодически. Пробы отбираются каждые 8 часов. Среднесуточные показатели свильности регистрируются в месячных отчетах технических характеристик вырабатываемого полированного стекла.

Главная причина, вызывающая образование свилей, заключается в неоднородности шихты и стекломассы [46]. При этом на образование свилей большое влияние оказывает температурный режим варки и выработки стекла. Возникновение свилей технологи также связывают с интенсивным разьедаением огнеупорной кладки печи компонентами шихты и стекломассой.

Поэтому при разработке модели свильности стекла входные переменные выбирались среди режимных переменных ванной стекловаренной печи и показателей свойств шихты.

Факторы отбирались направленным перебором входных переменных по величине остаточной дисперсии и сложности структуры модели. После проведенного поиска получено следующее уравнение регрессии, описывающее свильность вырабатываемого стекла:

$$Cв(t) = sv_0 - sv_1 \times \Theta_{cm1}(t-1) - sv_2 \times Q_r(t-2) + sv_3 \times R(t) + sv_4 \times G(t-2) + sv_5 \times C_{Fe2O3}(t), \quad (4.10)$$

где $(sv_0 - sv_5)$ – регрессионные коэффициенты модели;
 t – текущее время, сут.

Приведем интерпретацию модели (4.10) по влиянию входных переменных на свильность стекла. С ростом производительности стекловаренной печи G уменьшается гомогенизирующая способность стекломассы. Это приводит к ухудшению однородности стекломассы, поступающей на выработку, а следовательно, и к повышению свильности вырабатываемого стекла. На это указывает знак плюс перед коэффициентом регрессии sv_4 .

Увеличение содержания оксида железа (III) в стекле C_{Fe2O3} и числа Редокса R приводит к нарушению химической однородности стекломассы. Химическая неоднородность вызывает тонкие свили в стекле [45]. Это влияние отражено положительным значением коэффициентов регрессии

sv_5 , sv_3 при переменных $C_{Fe_2O_3}$ и R . Одновременно необходимо указать на термическую неоднородность стекломассы, вызываемую колебаниями содержания оксида железа (III) в шихте за счет снижения светопропускания стекломассы. Термическая неоднородность приводит к понижению качества формуемой ленты стекла.

Увеличение расхода газа на печь Q_r и температуры стекломассы в районе первой пары горелок Θ_{cm1} приводит к возрастанию интенсивности конвективного движения стекломассы под шихтой. При этом возрастает гомогенизирующая способность сыпчого цикла [47]. На выработку будет поступать более однородная стекломасса, что скажется на улучшении оптических свойств стекла и уменьшении свильности. Это влияние отражает знак минус для коэффициентов регрессии sv_1 , sv_2 , стоящих перед Q_{cm1} и Q_r .

Разработанная модель (4.10) достоверно отражает влияние режимных переменных стекловаренной печи и колебаний состава шихты на появление свили в вырабатываемом стекле.

Варочные пузыри

В технологическом процессе производства стекла ведется непрерывный контроль пороков, содержащихся в вырабатываемой ленте стекла. Лазерный дефектоскоп классифицирует пороки по геометрическим размерам, и данные по дефектам (размер, координаты на ленте) заносятся в базу данных (табл. 3.6).

В параграфе рассматривается математическая модель, описывающая содержание мелких пузырей в стекле в пересчете на 1 м^2 вырабатываемого стекла. С учетом периодичности коррекции режима печи (один раз в сутки) модель строится для среднесуточного содержания пузырей в вырабатываемом стекле. В результате статистического анализа влияния режимных переменных стекловаренной печи и колебаний компонентов состава шихты на содержание пузырей получено следующее уравнение регрессии:

$$\Pi(t) = p_0 - p_2\Theta_{cm2}(t) + p_3\Theta_{cm3}(t) + p_4R(t), \quad (4.11)$$

где $(p_0 - p_4)$ – коэффициенты регрессии; t – текущее время в сутках.

Приведем интерпретацию полученного уравнения регрессии. Знак минус коэффициента регрессии p_2 при режимной переменной $\Theta_{с_{м2}}$ указывает на уменьшение содержания пузырей с увеличением температуры стекломассы в квельпункте. Это можно объяснить ускорением первичных процессов осветления стекломассы [47]. Последнее положительно сказывается на уменьшении содержания пузырей в вырабатываемой ленте стекла. Увеличение температуры стекломассы в конце зоны варки $\Theta_{с_{м3}}$ вызывается избыточным расходом газа в зоне открытого зеркала стекломассы, что приводит к поверхностному вспениванию стекломассы и увеличению содержания пузырей в стекле. Положительный знак регрессора p_3 при $\Theta_{с_{м3}}$ подтверждает это.

Число Редокса R характеризует состояние газовой среды в печи, зависящее от режима сжигания газа и состава шихты. Технологией процесса стекловарения установлено, что с увеличением числа Редокса увеличивается количество пузырей в стекле. На это указывает положительный знак регрессора p_4 при R .

Знаки коэффициентов уравнения регрессии согласуются с технологическим представлением влияния режимных переменных на процесс стекловарения и образование пузырей. Это подтверждает правильность структуры разработанной модели.

Пороки, возникающие в процессе формирования ленты стекла

При прохождении стекломассы по флоат-ванне расплавленное олово, при увеличенном содержании кислорода может проникать в стекло. При повторном нагревании (закалке) в окислительной среде олово превращается в оксид олова (IV) и проявляется в виде матовости голубого цвета. Это явление называют блюм-эффектом, или цветением. Количество внедрившегося в стекло олова служит показателем химических условий ведения процесса во флоат-ванне. На производстве ведется ежесуточный контроль количества олова в вырабатываемом стекле. Результаты спектрального анализа содержания олова выражаются в $г/м^2$ и в процентах.

Для выявления статистической зависимости содержания олова в стекле от режима работы флоат-ванны были собраны показатели работы технологической линии ЛПС–2 в течение 2002 года. Обработка экспери-

ментальных данных позволила описать исследуемую зависимость линейным уравнением регрессии:

$$\text{Бл}(t) = \text{bl}_0 - \text{bl}_1 \cdot \Theta_{\text{ол12}}(t) - \text{bl}_2 \cdot \Theta_{\text{вых}}(t) + \text{bl}_3 \cdot C_{\text{O}_2}(t) + \text{bl}_3 \cdot \delta(t), \quad (4.12)$$

где $\text{bl}_0 - \text{bl}_3$ – коэффициенты регрессии, t – время в сутках.

Точность описания регрессионным уравнением (4.12) зависимости содержания олова в стекле Бл от режима работы флоат-ванны характеризуется остаточной дисперсией, равной $S^2_{\text{ост}} = 0,0064 \text{ (г/м}^2\text{)}^2$.

Как видно из регрессионного уравнения, содержание олова в стекле возрастает с ростом концентрации кислорода C_{O_2} в защитной атмосфере, на что указывает положительный знак коэффициента регрессии bl_3 . Увеличение температуры олова в двенадцатом пролете $\Theta_{\text{ол12}}$ и температуры ленты стекла на выходе из флоат-ванны $\Theta_{\text{вых}}$ приводит к уменьшению содержания олова в стекле, на что указывают отрицательные значения коэффициентов регрессии bl_1 и bl_2 . Чем толще стекло δ , тем больше блюм из-за возрастания времени пребывания ленты в флоат-ванне.

Приведенная интерпретация согласуется с технологическими представлениями проникновения расплавленного олова в стекло, что позволяет использовать выявленную регрессионную зависимость для статистического управления режимом флоат-ванны.

4.3. Статистический анализ процесса производства листового стекла

Статистический анализ и статистическое регулирование рекомендовано международным стандартом ИСО 9001:2000 как метод для установления, управления и подтверждения возможностей процессов и характеристик продукции. В данном параграфе описывается методика и результаты проведения статистического анализа работы первой и второй технологических линий производства полированного стекла ОАО “Борский стекольный завод” в 1999 году.

Исследования проводились с использованием разработанного Владимирским госуниверситетом программного комплекса “Технолог стекольного производства” [48] и табличного процессора EXCEL. Объем выборки за 365 суток можно считать представительным для выполнения по нему статистических исследований о работе технологических линий.

Данные о работе технологических линий вводились ежедневно вручную в базу данных программного комплекса. Исходная информация поступала из ЦЗЛ, КИС и производства 71. Данные отражали среднесуточные показатели работы технологических линии: режим технологического оборудования линий ЛПС–1 и ЛПС–2, состав шихты по результатам лабораторных анализов, химический анализ стекла, параметры ленты стекла и производительность линий, свойство вырабатываемого стекла, пороки в ленте стекла. В настоящее время операция по вводу данных автоматизирована, данные берутся из системы мониторинга РІ.

Стабильность ведения технологического процесса варки-выработки характеризуется величиной математического ожидания и среднеквадратичным отклонением свойств и пороков вырабатываемого стекла за анализируемый период. В качестве оценок математического ожидания показателей используется их среднее арифметическое значение. При нормальном законе распределения параметров и стационарном технологическом процессе среднее значение показателя и его среднеквадратичное отклонение являются достаточными оценками стабильности процесса.

Сравнительный анализ результатов работы линий проводился по следующим показателям:

- удельному расходу тепла на стекловарение;
- плотности вырабатываемого стекла;
- однородности вырабатываемого стекла;
- оптическим искажениям, измеряемым по методу “зебра”;
- степени свильности стекла;
- тепловому режиму ванн печей, оцениваемому по температуре стекломассы по показаниям донных термопар, установленных по оси первой, третьей и седьмой пар горелок, а также по усредненной температуре варки.

Результаты анализов выдаются в виде графиков изменения во времени этих показателей работы линий ЛПС–1 и ЛПС–2, а также в табличных формах.

Статистический анализ производства стекла на ЛПС-1

В данном разделе приводятся результаты статистического анализа показателей работы линии ЛПС-1 в течение 1999 года. На рис. 4.2 отображена производительность линии по варке стекломассы.

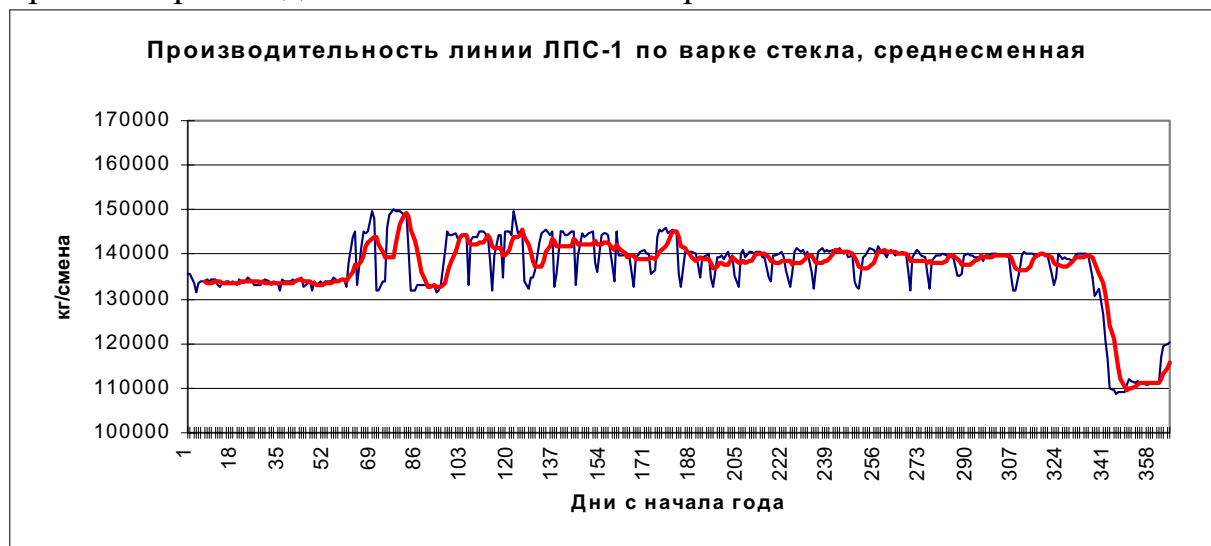


Рис. 4.2. Сменная производительность линии ЛПС-1 по варке стекла

Как видно из рис. 4.2, технологическая линия в течение января-февраля имела производительность по стекломассе около 134000 кг в смену, а в декабре была понижена до 110000 кг.

Удельный расход тепла на варку стекла отображен графической зависимостью на рис. 4.3. Средняя температура варки стекла выдерживалась в диапазоне 1210-1225 °С, а в декабре была понижена до 1175-1190 °С.

Колебания по месяцам теплового режима работы ванной печи технологической линии ЛПС-1 отражены в табл. 4.1.

Усредненная температура варки стекла

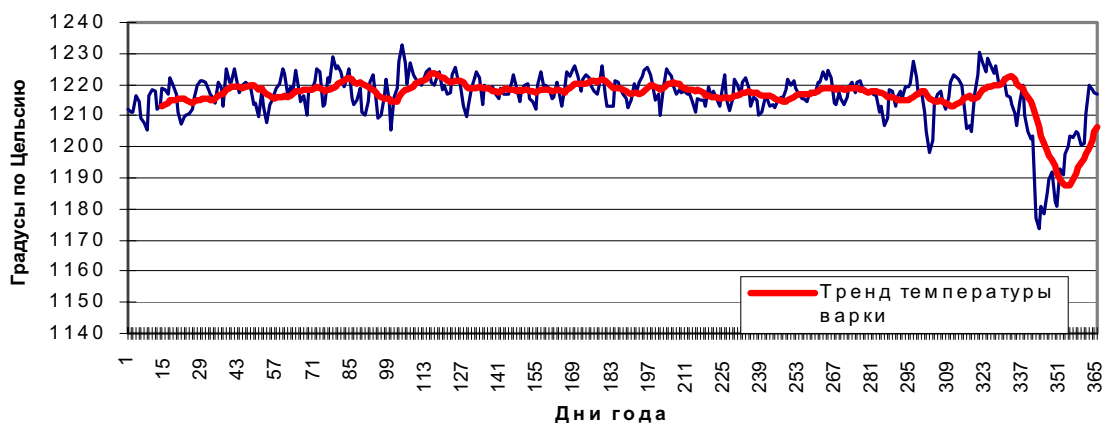


Рис. 4.3. Температура варки стекла в ванной печи ЛПС-1

Таблица 4.1

Анализ управления процессом выработки стекла на линии ЛПС–1

Дата	Удельный расход тепла, ккал/кг	Съем стекломассы, кг/смена	Средняя температура с/м в 1-й точке, °С	С.К.О.* температуры в 1-й точке, °С	Средняя температура варки, °С	С.К.О. температуры варки, °С
1	2	3	4	5	6	7
17.01.99	2032, 5	133742	1155, 2	7, 1	1215, 4	3, 7
16.02.99	1983, 1	134222, 6	1161, 4	7, 7	1217, 9	4, 3
18.03.99	1943, 8	140541, 9	1158, 6	8, 5	1219, 2	5, 0
17.04.99	1966, 5	141500, 0	1158, 4	7, 6	1220, 1	4, 8
17.05.99	2008, 4	141790, 3	1156, 5	5, 4	1218, 4	3, 3
16.06.99	1988, 6	141122, 6	1155, 4	6, 6	1219, 2	3, 3
16.07.99	2033, 2	138754, 8	1157, 9	6, 9	1218, 7	3, 9
15.08.99	2045, 0	138990, 3	1153, 2	6, 4	1215, 8	3, 7
14.09.99	2062, 5	139251, 6	1156, 4	8, 4	1217, 8	4, 7
14.10.99	2066, 7	138922, 6	1148, 6	10, 0	1215, 6	5, 8
13.11.99	2068, 9	138448, 4	1160, 1	13, 7	1218, 3	8, 4
13.12.99	2239, 3	118440, 3	1134, 9	13, 7	1199, 2	8, 4

* Среднеквадратичное отклонение.

Качество вырабатываемого стекла технологической линией ЛПС–1 характеризуется усредненными показателями, приведенными в табл. 4.2.

Графа однородности заполнена не полностью из-за отсутствия анализов проб стекла в пропущенные месяцы.

Таблица 4.2

Показатели качества стекла, вырабатываемого линией ЛПС–1

Дата	Плотность стекла, г/см ³	Зебра, град	Свиль по образцам	Однородность, °С
17.01.99	2, 4884/0,00045*	51, 1/7, 7	1, 19/0,31	2, 31
16.02.99	2, 4873/0,0004	50,9/8, 6	1, 41/0,27	2, 17
18.03.99	2, 4875/0,00035	47, 4/9, 1	1, 51/0,32	2, 45
17.04.99	2, 4881/0,00041	49, 8/7, 5	1, 38/0,23	2, 38
17.05.99	2, 4879/0,00033	48, 5/4, 6	1, 46/0,17	2, 3
16.06.99	2, 4878/0,00037	47, 5/8, 2	1, 41/0,26	2, 27
16.07.99	2, 4881/0,00037	48, 9/7, 3	1, 39/0,23	2, 25
16.08.99	2, 4878/0,00039	47, 9/6, 5	1, 28/0,23	2, 33
14.09.99	2, 4874/0,00038	51, 8/8, 8	1, 14/0,14	-
13.10.99	2, 4875/0,0005	50,1/8, 9	1, 31/0,25	-
13.11.99	2, 4887/0,00035	51, 9/9, 5	1, 36/0,25	-
13.12.99	2, 4889/0,00046	56, 5/6, 3	1, 21/0,24	-

* в числителе записано среднее месячное значение показателя, а в знаменателе – среднеквадратичное отклонение.

Изменение показателей качества вырабатываемого стекла во времени показано на графиках (рис. 4.4 – 4.6).

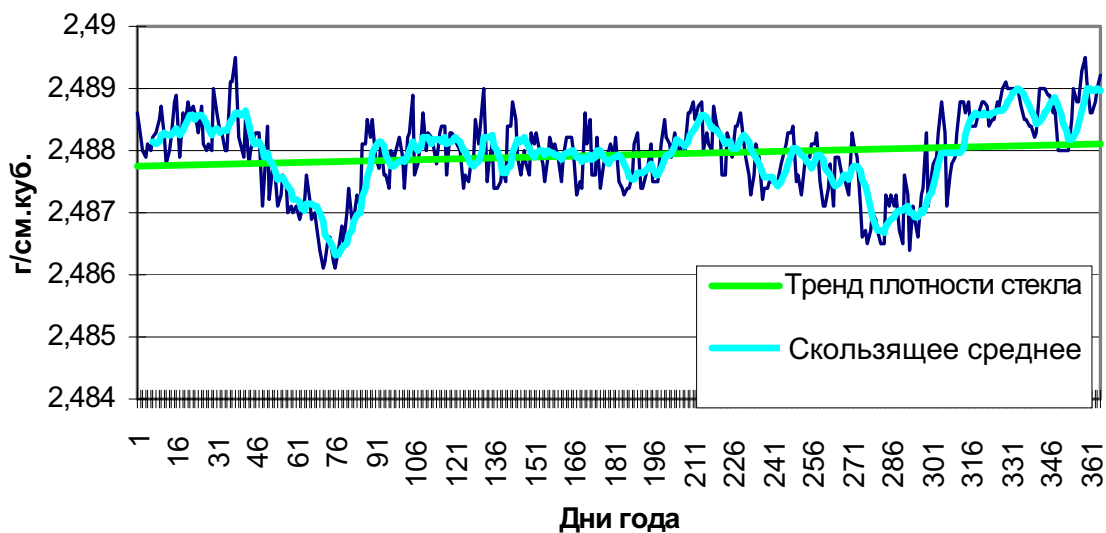


Рис. 4.4. Изменение плотности вырабатываемого стекла линией ЛПС–1

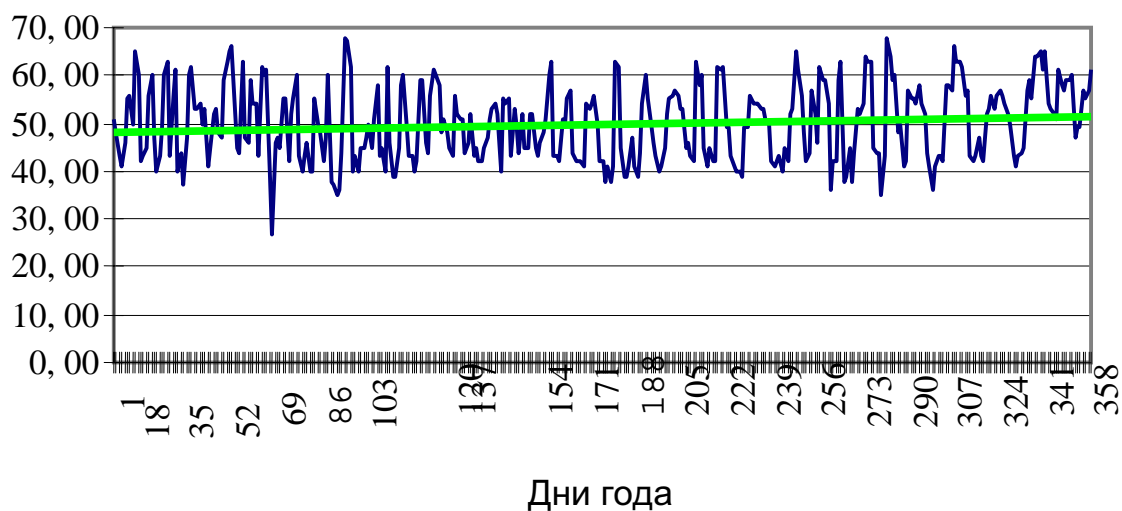


Рис. 4.5. Изменение оптического свойства вырабатываемого линией ЛПС–1 стекла, измеряемого по методу «зебра»

Изменение плотности стекла в течение года представляет собой стационарный случайный процесс, оцениваемый средней величиной 2, 4878 г/см³. В графике плотности присутствует низкочастотная (гармоническая)

составляющая с периодом около 90 суток. Амплитуда колебаний достигает $0,0014 - 0,0016 \text{ г/см}^3$. Появление этой составляющей можно объяснить сезонными колебаниями окружающей среды либо качества используемого сырья. Оптические свойства вырабатываемого стекла, измеренные по методу “зебра”, характеризуются стационарностью изменения свойств во времени (см. рис. 4.5). Математическое ожидание показателя оценивается средним значением, равным 48,3 угл. градусам. Разброс оптических свойств стекла характеризуется средним квадратичным отклонением, равным 7,1 угл. градусам.

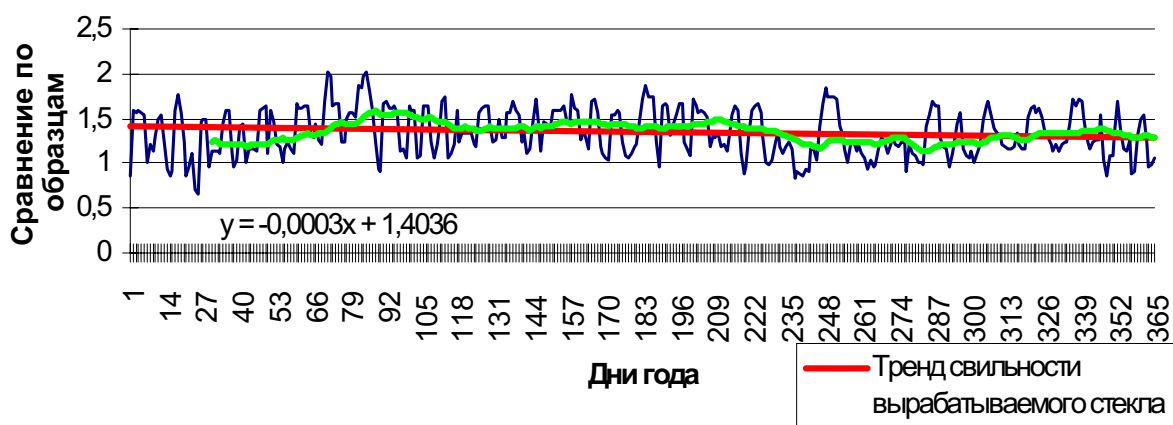


Рис. 4.6. Изменение содержания свилей в стекле, вырабатываемого линией ЛПС–1

Степень свильности стекла в течение 1999 г. колебалась от 0,7 до 2 ед. по образцам. Изменение во времени носит квазистационарный характер с оценкой математического ожидания 1,34 ед. по образцам и средним квадратичным отклонением 0,26. В графике содержания свилей присутствует низкочастотная гармоническая составляющая с периодом около 30 суток. Индекс колебаний свилей находится в диапазоне от 89 до 117,6 %.

Числовые данные результатов проведенного анализа позволяют рассчитать оценки точности и стабильности технологического процесса производства стекла первой линии ЛПС–1 по формулам, приведенным в § 3.3 монографии.

Сравнительный анализ работы линий ЛПС–1 и ЛПС–2 в 1999 году

В случаях воздействия на технологический процесс значительных возмущений, а также при корректировке технологического регламента может нарушиться стационарный режим работы оборудования. При этом точечные оценки параметров процесса, такие как среднее арифметическое значение и среднеквадратичное отклонение, оказываются недостаточно информативными. Они не позволяют выявить имевшие место изменения. Нарушения стационарности протекания технологического процесса могут вызываться и другими причинами, такими как изменение свойств партий используемого сырья, конструктивные изменения в технологическом оборудовании и т.д.

В общем случае показатели работы линии из-за влияния на них многих случайных факторов можно рассматривать как случайные величины. Обобщенной характеристикой случайной величины является закон ее распределения, который оценивается с помощью характеристики, называемой плотностью распределения вероятностей.

Для выявления указанных воздействий необходимо проводить анализ характерных особенностей плотности распределения вероятностей анализируемых показателей. Для этого необходимо использовать непараметрическую аппроксимацию соответствующего статистического закона распределения [49, 50]. Рассмотрим методику анализа стабильности технологического процесса варки-выработки, включающую в себя построение по экспериментальным данным функции плотностей распределения анализируемого показателя и последующий анализ характерных особенностей полученной функции.

Задачей проводимых исследований является сравнительная оценка стабильности работы двух технологических линий производства 71.

Проведем анализ однородности и плотности вырабатываемого стекла на линиях ЛПС–1 и ЛПС–2. Для статистического анализа использовались среднесуточные данные работы линий за период с января по декабрь 1999 года.

Для сравнения расчетные функции плотностей распределения вероятностей анализируемых показателей отображены на рисунках (рис. 4.7, рис. 4.8).

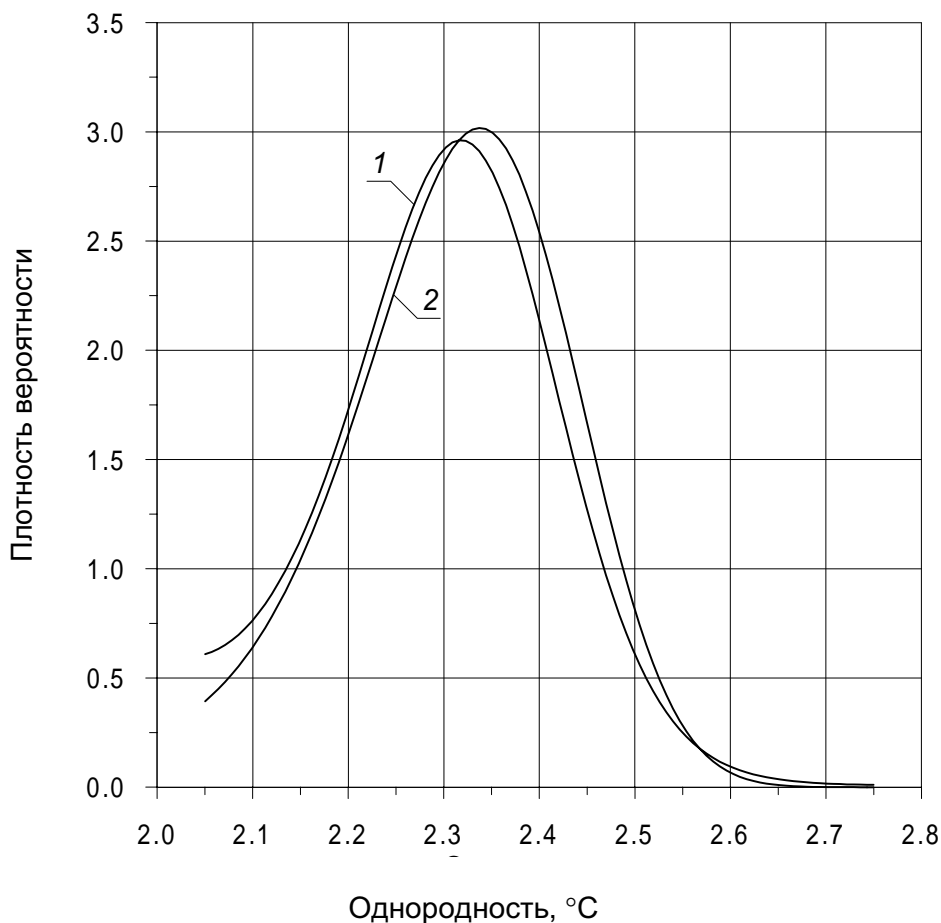


Рис. 4.7. Плотность вероятностей распределения значений однородности вырабатываемого стекла на линиях ЛПС-1 и ЛПС-2: 1-данные для ЛПС-1, 2 – данные для ЛПС-2

Как видно из графиков рис. 4.7, функции плотностей распределения однородности стекла, вырабатываемого на двух линиях, являются одно-модальными и симметричными, что свидетельствует об одинаковой стабильности процессов по однородности стекла. Смещение мод функций распределения однородности незначимое и находится в пределах погрешностей вычислений.

Функции распределения плотностей вырабатываемого стекла (рис. 4.8) также являются одномодальными и симметричными, что подтверждает одинаковую стабильность процесса выработки стекла по плотности на обеих линиях.

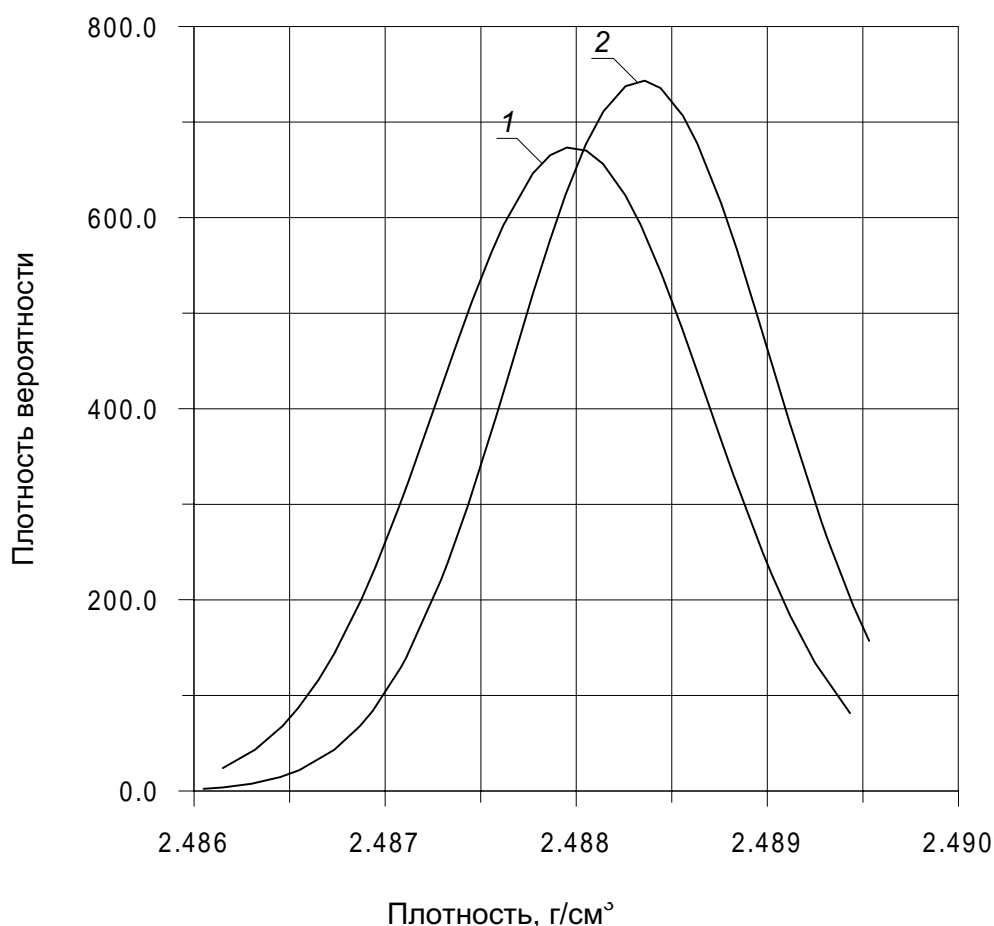


Рис. 4.8. Плотность вероятностей распределения значений плотности вырабатываемого стекла на линиях ЛПС-1 и ЛПС-2: 1-данные для ЛПС-1, 2-данные для ЛПС-2

Мода функции плотности распределения плотности вырабатываемого стекла на первой линии составляет $2,4881 \text{ г/см}^3$, а на второй линии- $2,4884 \text{ г/см}^3$. Отличие мод на величину $0,0003 \text{ г/см}^3$ незначимо и соизмеримо с погрешностями анализов плотности.

Характер изменения оптических свойств вырабатываемого стекла на линиях ЛПС-1 и ЛПС-2 существенно отличается, что видно из сравнения функций плотностей распределения “зевры” (рис. 4.9). Различия – в математическом ожидании и величине среднеквадратичного отклонения.

Так, стекло, вырабатываемое второй линией, отличается лучшими оптическими свойствами. Среднее арифметическое значение, определенное по методу «зебра», составляет 61° , а среднеквадратичное отклонение – 4° . Стекло, выработанное первой линией, характеризуется средним арифметическим значением 50° и среднеквадратичным отклонением 8° .

Анализ плотностей распределения оптических свойств выработанного стекла позволил выявить нестационарность работы первой технологической линии в течение 1999 года, что не обнаруживалось при анализе графика изменения оптических свойств вырабатываемого стекла (см. рис. 4.5).

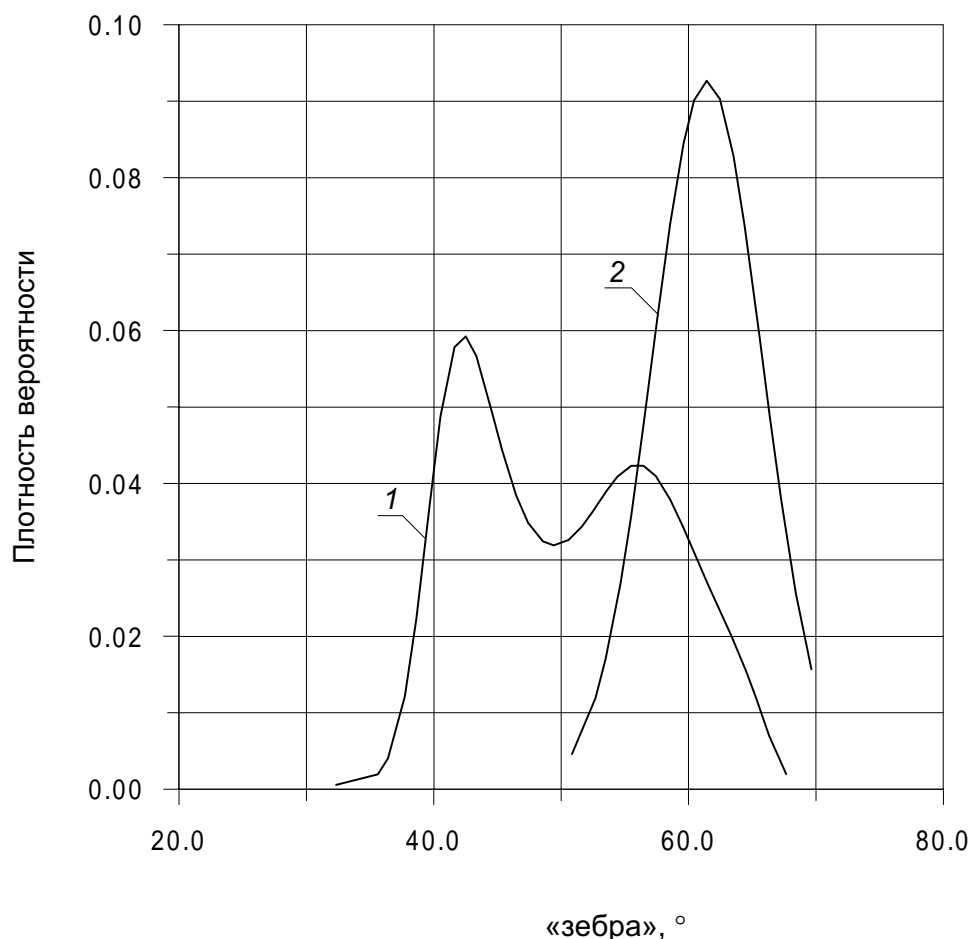


Рис. 4.9. Плотность вероятностей распределения значений оптических свойств стекла по методу «зебра», вырабатываемого на линиях ЛПС-1 и ЛПС-2: 1-данные для ЛПС-1, 2-данные для ЛПС-2

Характер изменения оптических свойств вырабатываемого стекла на линиях ЛПС-1 и ЛПС-2 существенно различается. Так, плотность распре-

деления оптических свойств стекла первой линии характеризуется двухмодальностью, что свидетельствует о нестационарности ее работы. На графике видны два центра распределения с модами 42^0 и 56^0 . В то же время плотность распределения оптических свойств стекла, вырабатываемого второй линией, отличается одномодальностью со значением 61^0 , что говорит о стабильности ведения процесса.

Пороки в стекле типа свилей, законы их распределения отражены на рис. 4.10. Здесь также наблюдается нестационарность работы первой линии по содержанию пороков в стекле. Функция плотности распределения свилей в стекле, вырабатываемом первой линией, имеет двухмодальную форму. Первая мода равна 1,18, вторая – 1,62 усл. единиц. Стекло, вырабатываемое второй линией, характеризуется высокой стабильностью и малой свилью (мода равна 1,1 усл. ед.) по сравнению со стеклом, вырабатываемым первой линией.

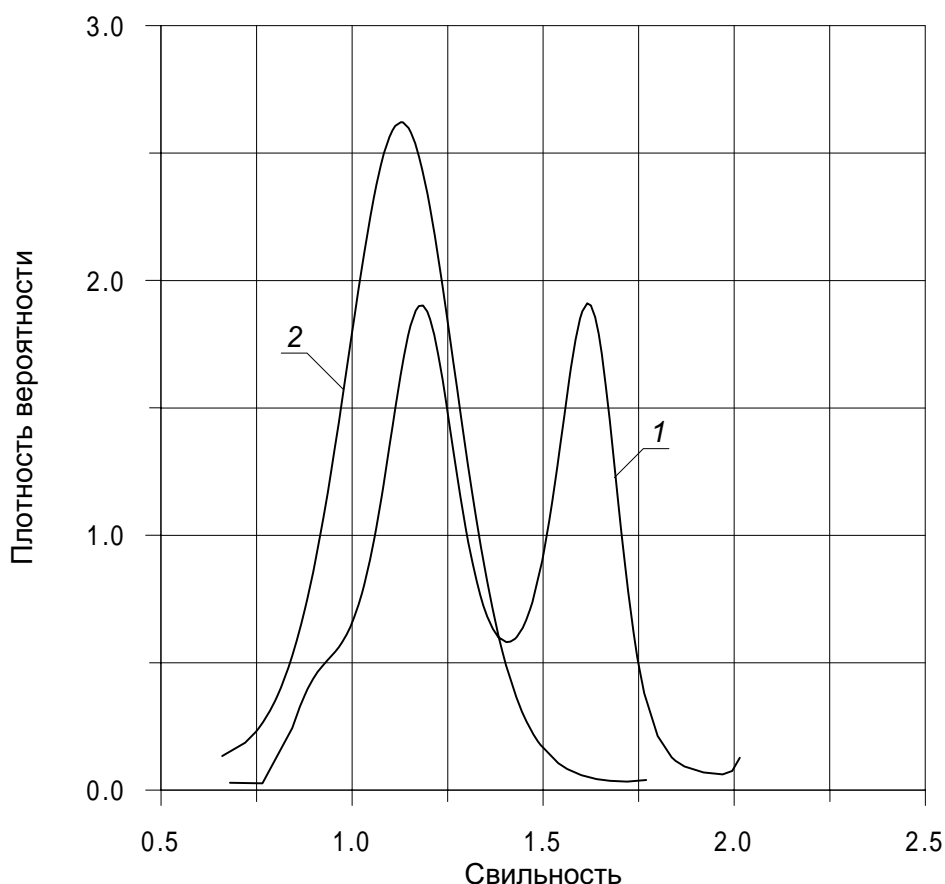


Рис. 4.10. Плотность вероятностей распределения значений свильности стекла, вырабатываемого на линиях ЛПС-1 и ЛПС-2: 1-данные для ЛПС-1, 2-данные для ЛПС-2

Последующий анализ работы технологических линий позволил объяснить эту причину. Из-за нехватки возвратного боя с сентября 1999 г. начали уменьшать количество боя, загружаемого в ванную печь первой технологической линии, сохраняя неизменным загрузку боя в ванную печь второй линии. Загрузка боя стекла в первую печь постепенно уменьшалась с 31 % в сентябре до 25 – 20 – 15 % в октябре. Изменение технологического режима работы первой линии привело к соответствующему изменению показателей оптических свойств вырабатываемого стекла. Среднее значение показателя оптических свойств возросло с 49 до 52⁰, а среднеквадратичное отклонение изменилось незначительно – с 7,6 до 8,2⁰.

4.4. Дальнейшее улучшение качества стекла

Математическое моделирование процесса производства стекла с использованием компьютерной техники играет важную роль в совершенствовании управления технологическим процессом производства листового стекла [51]. В этом параграфе рассматривается методика использования вычислительного эксперимента и имитационного моделирования для оценки эффективности управления производством листового стекла и выработки предложений по совершенствованию алгоритмов управления с целью дальнейшего улучшения качества вырабатываемого стекла. Предлагаемая методика состоит из следующих этапов:

1) разработка регрессионных моделей, описывающих зависимость показателей качества вырабатываемого стекла от режима работы технологического оборудования. Этот этап описан в § 4.2;

2) формализация задачи управления в пространстве режимных переменных технологического оборудования; выбор критериев управления и ограничений;

3) имитационное моделирование системы управления с выбранным алгоритмом управления; оценка достигаемого улучшения качества стекла;

4) повторение этапов 2 и 3 при других формулировках задач управления и алгоритмов их решения; выбор рационального варианта постановки и решения задачи управления качеством стекла;

5) выработка предложений по совершенствованию алгоритмов управления производством для дальнейшего улучшения качества вырабатываемого листового стекла.

Достоверность результатов моделирования во многом зависит от точности регрессионных моделей, используемых при моделировании. Для повышения точности параметры моделей уточнялись с помощью алгоритма адаптации с использованием фактических данных режимных переменных и показателей качества стекла.

Используемые при моделировании регрессионные уравнения имеют линейную структуру, которые формально можно записать в следующем виде:

$$y(t) = b_0(t) + b_1(t) \cdot x_1(t-\tau_1) + \dots + b_k(t) \cdot x_k(t-\tau_k), \quad (4.13)$$

где $b_i(t)$, $i=0, 1, \dots, k$ – параметры модели; t – текущее время; k – количество факторов в модели; x_i – входные переменные; τ_i – запаздывание по входным каналам; $y(t)$ – выходная переменная.

Точность регрессионного уравнения оценивается абсолютной погрешностью Δy , вычисляемой по формуле:

$$\Delta y(t) = y_{\phi}(t) - y(t), \quad (4.14)$$

где $y_{\phi}(t)$, $y(t)$ – фактическое и рассчитанное по регрессионному уравнению значение показателя качества стекла.

При превышении ошибки допустимой величины происходит иницирование алгоритма адаптации (рис. 4.11).

Алгоритм адаптации, используя информацию о входных и выходных переменных, значения текущих параметров модели и ее ошибки, проводит коррекцию коэффициентов модели по формуле [52]:

$$b_i(t) = b_i(t-1) + (y(t) - \sum_{i=0}^k b_i(t-1) x_i(t-\tau_i)) / (\gamma + \sum_{i=0}^k x_i^2(t-\tau_i)) \cdot x_i(t-\tau_i), \quad (4.15)$$

где τ_i – запаздывание по каналу; γ – параметр алгоритма адаптации.

Сходимость алгоритма обеспечивается выбором значения параметра γ и начальных значений коэффициентов регрессии. Значение γ подбирается экспериментально. При отсутствии помех в измерении входных переменных принимается $\gamma=0$. Для модели с неизменяемыми значениями рег-

рессоров $\gamma = \infty$. В качестве начальных значений коэффициентов регрессии выбираются коэффициенты из уравнения регрессии.

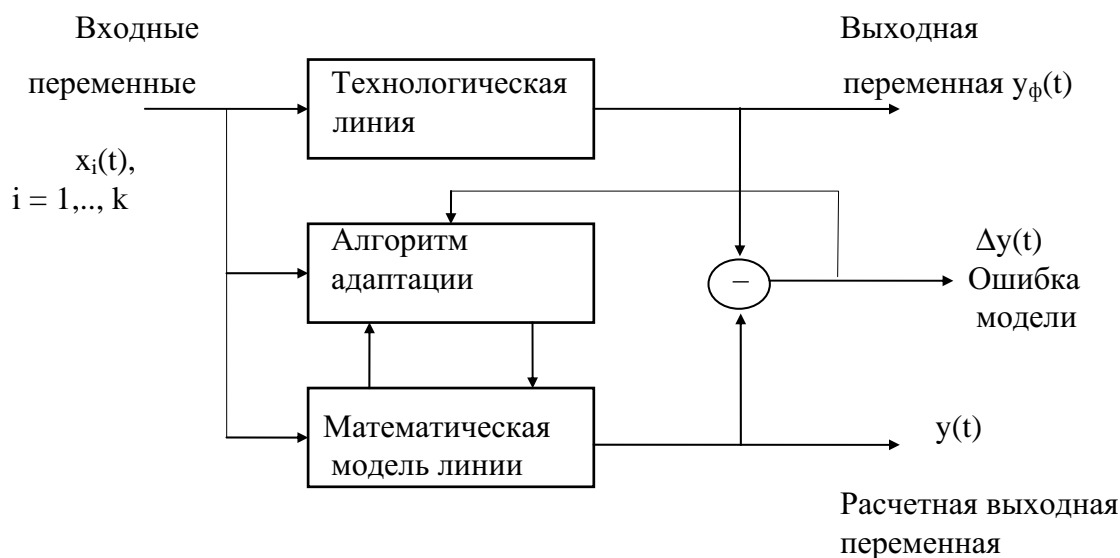


Рис. 4.11. Схема коррекции параметров регрессионного уравнения

С помощью машинного эксперимента, реализованного на контрольной выборке, уточнялись статистические данные о работоспособности регрессионных моделей (дисперсия погрешности модели, периодичность коррекции, диапазон изменения коэффициентов и др.).

После получения адекватных моделей разрабатывалась имитационная модель управления производством листового стекла.

Инерционность объекта управления, низкочастотный спектр возмущающих воздействий определяют дискретность управления процессом: один раз в сутки корректируется режим работы технологического оборудования. Между интервалами управления выбранный режим стабилизируется средствами локальной автоматики либо операторами вручную.

Анализ случайных процессов изменения выходных переменных участка варки-выработки листового стекла, инерционность каналов управления по режимным переменным, спектральные характеристики возмущающих воздействий позволяют отнести рассматриваемую задачу к числу задач статического планирования и управления [10]. Реализуемость статического подхода к решению задач управления процессом варки-выработки подтверждается тем, что действующие возмущающие воздействия

ствия компенсируются при помощи режимных переменных значительно быстрее, чем успевают измениться значения самих возмущений.

Полученные регрессионные уравнения представляют собой приближенную модель объекта, позволяющие рассчитать выходные показатели технологического процесса с некоторой ошибкой. Аппроксимация динамических моделей каналов режимных переменных характеристиками звена чистого запаздывания позволяет использовать для математического описания статического режима работы технологической линии систему алгебраических уравнений. В этом случае выходные показатели должны рассчитываться по входным переменным с учетом эквивалентных времен запаздывания.

При решении задачи управления с использованием регрессионных уравнений может оказаться, что технологический режим, выбранный в результате решения задачи с приближенной моделью процесса, в действительности не будет обеспечивать выработку стекла заданного качества.

Организация управления процессом варки-выработки с заданной надежностью (вероятностью) возможна двумя способами:

- 1) разработкой адаптивных математических моделей;
- 2) разработкой алгоритмов управления, учитывающих вероятностный характер полученного математического описания и использующих некоторую дополнительную информацию о процессе.

В монографии использован первый подход – разработка моделей с заданной точностью и использование детерминированных алгоритмов для решения статической задачи управления (планирования) процессом варки-выработки листового стекла. Этот подход отличается простотой и ясностью алгоритмов управления. При адекватных моделях он позволяет получать решения, близкие к результатам, полученным с использованием сложных алгоритмов, при решении стохастических задач.

В параграфе рассматривается использование машинных имитационных моделей для получения информации, дополняющей результаты реальных испытаний системы управления и оценки эффективности функционирующей системы. При создании имитационной модели ориентировались на использование экспериментальных данных по входным и выходным переменным, собираемым с объекта. Экспериментальные данные позволяют оценить точность соответствия поведения модели поведению реального объекта и при необходимости уточнить модель, оценить эффек-

тивность исследуемых алгоритмов управления по сравнению с ручным ведением процесса при одинаковых исходных данных.

Система автоматизированного управления процессом варки-выработки производственного объединения «Полированное стекло» ОАО «Борский стекольный завод» относится к числу больших и сложных систем, что усложняет ее исследование. Возникшая проблема решается путем сведения задачи большой размерности к последовательному решению нескольких задач малой размерности за счет ее декомпозиции.

В результате декомпозиции производства листового стекла по стадиям технологического процесса выделены пять подсистем: подготовки шихты, стекловарения, формования ленты стекла, отжига и конечных операций.

Указанные подсистемы объединены единым процессом производства стекла. Схеме с последовательным соединением технологического оборудования без резервирования присущи недостатки. В такой схеме отказ любого технологического оборудования или появление дефектов на отдельных стадиях процесса приводит к прекращению выработки ленты стекла либо к выработке стекла с дефектами. При этом дефекты, порождаемые одной из технологических стадий, как правило, не могут быть скомпенсированы корректировкой режима работы последующих стадий. Эта особенность предъявляет высокие требования к системе управления по согласованию работы основного технологического оборудования и стабилизации технологического процесса на всех стадиях технологической линии производства листового стекла.

С учетом указанных особенностей технологического процесса, задача управления варкой-выработкой стекла может рассматриваться как задача управления в многомерном пространстве режимных переменных участка варки-выработки и химического состава стекла, который зависит от состава и свойств подготовленной шихты. Для решения этой задачи используются регрессионные уравнения, описанные выше.

Задача стабилизации режимных переменных основного технологического оборудования решается с использованием систем автоматического регулирования либо автоматизированного управления режимными переменными, которые образуют подсистему нижнего уровня в иерархической структуре системы управления производством.

Рассмотрим использование имитационного моделирования для оценки эффективности управления основным технологическим оборудованием линии и выработки предложений по коррекции режима его работы для повышения качества вырабатываемого стекла.

Имитационное моделирование процесса варки стекла в ванной печи

Для выявления резервов повышения качества вырабатываемого стекла на первой линии ЛПС–1 проводится имитационное моделирование алгоритмов управления с использованием программного комплекса ”Технолог стеклового производства”.

Исследуется эффективность алгоритмов стабилизации плотности вырабатываемого стекла по сравнению с ручным ведением процесса с использованием реальных данных, собранных с линии ЛПС–1 за период работы с 1.01 г. по 31.12.99 г.

При испытании алгоритмов управления накладывались ограничения на диапазон изменения температуры стекломассы в начале, в конце зоны варки, а также в точке температурного максимума:

$$\begin{aligned} 1110 \text{ }^{\circ}\text{C} &\leq \Theta_1 \leq 1210 \text{ }^{\circ}\text{C} , \\ 1180 \text{ }^{\circ}\text{C} &\leq \Theta_2 \leq 1250 \text{ }^{\circ}\text{C} , \\ 1035 \text{ }^{\circ}\text{C} &\leq \Theta_3 \leq 1250 \text{ }^{\circ}\text{C} . \end{aligned} \quad (4.16)$$

Ограничивалась также величина суточной коррекции температуры стекломассы в указанных точках измерения:

$$\begin{aligned} |\Delta\Theta_1| &\leq 7,5 \text{ }^{\circ}\text{C} , \\ |\Delta\Theta_2| &\leq 2 \text{ }^{\circ}\text{C} , \\ |\Delta\Theta_3| &\leq 2,2 \text{ }^{\circ}\text{C} . \end{aligned} \quad (4.17)$$

Требования к качеству вырабатываемого стекла задавались допустимой свилью в стекле не более 1,5 ед. по образцам. Оптические свойства, измеренные по методу ”зебра”, должны превышать 30 угловых градусов. Количество мелких пузырей в стекле не должно превышать 9 шт. на квадратный метр.

Алгоритм управления стекловарением решает задачу ограничения суточного изменения плотности не более 0,0005 г/см³.

Сравнительные графики изменения теплового режима работы печи по температуре стекломассы приведены на рис. 4,12.



Рис. 4.12. Сравнение теплового режима работы ванной печи с результатами моделирования: 1, 2, 3 – температура $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ при ручном ведении процесса; 4, 5, 6 – соответственно при управлении

Таблица 4.3

Сравнение температурного режима управления плотностью стекла с ручным ведением процесса варки

Режим управления	Ручное ведение процесса			Управление плотностью стекла		
	Θ_1	Θ_2	Θ_3	Θ_1	Θ_2	Θ_3
Средн. значен.	1154,8	1240,8	1253,2	1152,1	1242,9	1251
С.К.О.	12,0	8,8	6,1	1,9	1,1	0,3
Обозначение температуры	Θ_1	Θ_2	Θ_3	Θ_1	Θ_2	Θ_3

Как видно из графика (рис. 4.12), а также из табличных данных (табл. 4.3) алгоритм управления плотностью стабилизирует тепловой режим работы ванной печи. Температура по показаниям первой термопары выдерживается на уровне 1152 °С, по показаниям второй термопары – 1243 °С и третьей – 1251 °С. Стабилизация теплового режима работы ванной печи улучшает качество вырабатываемого стекла.

Результаты имитационного моделирования алгоритма управления плотностью стекла и достигаемые при этом показатели качества сведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Анализ алгоритма управления плотностью
вырабатываемого стекла на ЛПС–1

Дата	Плотность стекла, г/см ³		Зебра, гр. угловые		Свиль, по образцам		Удел. расход тепла, ккал/кг	Экономия газа, м ³ ×10 ⁴
	Средн.	С.К.О.	Средн.	С.К.О.	Средн.	С.К.О.	Средн.	Средн.
31.01.99	2,4855	0,0002	48,8	4,5	1,27	0,08	2040,4	-1,22
28.02.99	2,4879	0,0003	48,0	3,9	1,34	0,19	1984	-7,13
31.03.99	2,4871	0,0003	48,7	5,7	1,38	0,26	1942,8	-8,41
0.04.99	2,4871	0,0001	53,8	11,4	1,33	0,15	1948,3	-4,81
31.05.99	2,4875	0,0001	47,8	5,0	1,57	0,13	1991,5	1,39
30.06.99	2,4875	0,0001	47,4	5,8	1,56	0,07	2008,0	0,48
31.07.99	2,4877	0,0001	49,1	7,5	1,46	0,08	2027,2	2,17
31.08.99	2,4877	0,0001	49,3	5,0	1,28	0,13	2022,4	6,1
30.09.99	2,4874	0,0003	50,5	7,5	1,2	0,08	2044,7	9,92
31.10.99	2,4870	0,0002	50,0	8,0	1,23	0,11	2069,7	14,0
30.11.99	2,4875	0,0001	50,2	7,1	1,2	0,12	2110,8	8,6
31.12.99	2,4878	0,0002	52,0	5,6	0,97	0,16	2213,5	16,0
Среднее арифметическое	2,4876	0,00017	49,6	6,42	1,32	0,13	2033,6	-

Обозначения: Средн. – среднее арифметическое значение параметра;
С.К.О. – среднее квадратичное отклонение параметра.

Для сопоставления алгоритма управления плотностью стекла с ручным ведением процесса результаты моделирования и показатели ручного управления сведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Сравнительные показатели управления печью по плотности вырабатываемого стекла с ручным ведением процесса варки

Показатели	Плотность стекла, г/см ³		Зебра, гр. угловые		Свиль, по образцам		Удел. расход тепла, ккал/кг
	Средн.	С.К.О.	Средн.	С.К.О.	Средн.	С.К.О.	Средн.
По плотности	2,4876	0,00017	49,6	6,42	1,32	0,13	2033,6
Ручное	2,4879	0,0004	50,2	7,7	1,34	0,24	2036,5

Как видно из табл. 4.5, алгоритм управления позволяет стабилизировать плотность вырабатываемого стекла, что приводит к стабилизации оптических свойств стекла, измеряемых по методу “зебра”, и содержания пороков в стекле типа свилей. Среднее квадратичное отклонение плотности вырабатываемого стекла при одной и той же шихте, загружаемой в печь, можно уменьшить в 2, 3 раза. При этом одновременно уменьшается среднее квадратичное отклонение содержания свилей в вырабатываемом стекле в 1,84 раза. Стабильность оптических свойств вырабатываемого стекла остается прежней.

Алгоритм управления позволяет более экономно вести процесс варки, что позволяет сэкономить на первой ванной печи около 160 тыс. кубических метров природного газа в год.

Таким образом, моделирование показало возможность дальнейшего улучшения качества варки стекла при переходе от ручного ведения процесса к управлению по результатам имитационного моделирования режима варки.

Имитационное моделирование процесса отжига стекла в туннельной печи

Рассматривается работа печи отжига фирмы КНУД производительностью 420 т/сут, ширина ленты стекла 3300 мм, толщина до 6 мм. Качество отжига оценивается по величине остаточных напряжений в стекле, кривизне плоской ленты и проценту отхода стекла после отжига.

Режим отжига зависит от изменения температуры в туннели печи и скорости перемещения ленты. Температура отжига контролировалась вдоль туннеля в зонах А, В, С, D. В каждой зоне в пяти точках по ширине ленты ведется контроль изменения температуры.

Имитационным моделированием подбирался режим отжига, обеспечивающий наименьшие отходы стекла при выполнении ограничений, накладываемых на величину остаточных напряжений $\sigma_{\text{доп}}$ и кривизну ленты стекла. Для решения этой задачи была разработана регрессионная модель, описывающая зависимость величины отходов стекла после печи отжига от режима работы технологического оборудования линии ЛПС–1 [53]:

$$\text{От}(t) = \text{от}_0 - \text{от}_1 \cdot \delta(t) + \text{от}_2 \cdot \Theta_{\text{вых}}(t) - \text{от}_3 \cdot \text{Пл}(t) + \text{от}_4 \cdot a_1(t), \quad (4.18)$$

где $\text{От}(t)$ – относительное время включения боительной машины в течение суток, %; $\text{от}_0 - \text{от}_4$ – коэффициенты регрессии; t – время, сут.

Точность полученной регрессионной модели достаточна для моделирования, она оценивается значением коэффициента множественной линейной корреляции, равным $R^2 = 0,74$.

Величина допустимых остаточных напряжений зависит от толщины вырабатываемого стекла, ее значение рассчитывалось по эмпирической формуле:

$$\sigma_{\text{доп}} = 5 + 2,5 \cdot (\delta - 2) \quad (4.19)$$

Кривизна стекла ограничивалась величиной 0,025 %. Интенсивность коррекции скорости охлаждения стекла задавалась величиной, равной 0,25 °С/м.

Полученный в результате моделирования режим отжига стекла отличается от ручного ведения процесса ненамного (на 9,3 %) (рис. 4.13).

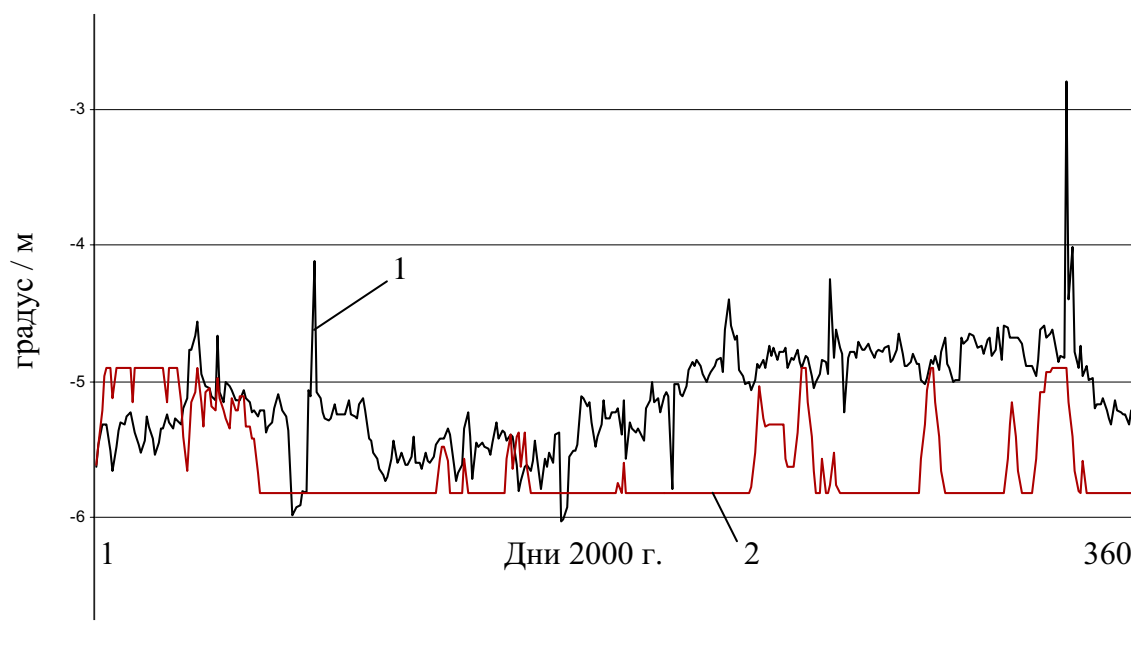


Рис. 4.13. Сравнение режима отжига ленты стекла с результатами моделирования: 1 – фактическая, 2 – расчетная скорость охлаждения

Модельный режим отжига характеризуется большей стабильностью. В течение первого полугодия отличия незначительны. Во втором полугодии выдерживалась меньшая интенсивность охлаждения, чем результаты, полученные моделированием.

Данные моделирования режима отжига в сравнении с ручным ведением процесса сведены в таблицу 4.6.

Таблица 4.6

Сравнительные показатели результатов моделирования с ручным ведением процесса отжига стекла в течение 2000 г.

Дата	Фактическое остаточное напряжение		Модельное остаточное напряжение	
	Среднемесячное значение	Среднеквадратичное отклонение	Среднемесячное значение	Среднеквадратичное отклонение
23.01	10,66	1,68	10,09	1,6
23.02	7,99	1,91	7,14	2
24.03	9,22	1,75	8,77	1,34
23.04	9,47	2,19	7,79	1,6
23.05	9,57	2,69	8,89	2,44

Окончание табл. 4.6

Дата	Фактическое остаточное напряжение		Модельное остаточное напряжение	
	Среднемесячное значение	Среднеквадратичное отклонение	Среднемесячное значение	Среднеквадратичное отклонение
22.06	7,76	1,74	7,34	1,72
21.07	8,89	1,88	6,67	1,13
21.08	8,65	2,29	8,16	1,57
20.09	8,63	2,33	8,81	1,7
20.10	8,08	2,26	8,3	1,95
19.11	8,76	1,6	8,88	1,51
19.12	8,87	2,63	9,14	2,13
Среднее годовое	8,88	2,08	8,33	1,73

Алгоритм управления режимом отжига позволяет снизить величину остаточных напряжений в стекле после отжига на 6 %, уменьшается также разброс остаточных напряжений на 16,8 %. Кривизна вырабатываемой ленты стекла практически не изменяется, среднее значение кривизны составило 0,015 и 0,0156 % соответственно.

Среднесуточное время включения боительной машины в 2000-м году при ручном ведении процесса отжига составило 3,45 % от продолжительности суток со среднеквадратичным отклонением 2,7 %. При переходе к отжигу стекла с использованием алгоритма управления среднесуточное время включения боительной машины сокращается до 2,69 %. Это позволяет увеличить выработку стекла на 0,78 %, что соответствует дополнительной выработке 1166,9 тонн (трое суток работы линии ЛПС–1).

Проведенное моделирование показало возможность дальнейшего улучшения качества стекла и уменьшения отходов после отжига.

Имитационное моделирование процесса формования ленты стекла на расплаве олова

Рассматривается процесс формования ленты стекла на расплаве олова. Объектом исследования является флоат-ванна производительностью 550 т/сут листового стекла толщиной от 3 до 10 мм.

Качество формования оценивается разнотолщинностью ленты (P_t), блюм-эффектом (Бл), кривизной ленты (Кр), оптическими искажениями, измеряемыми по методу «зебра» (Z_b), и методом отраженного растра (P_a).

Тепловой режим формования ленты стекла контролируется по температуре олова в 20-м пролете по правой и левой стороне ванны. Защитная атмосфера ванны контролируется по величине точки росы. Для изоляции от окружающей среды в флоат-ванне поддерживается слабое избыточное давление.

На процесс формования оказывают влияние возмущающие воздействия, такие как изменение параметров вырабатываемой ленты, колебания производительности линии, влажность защитной атмосферы и др.

Управляющими воздействиями являются: скорость четырех пар бортоформирующих машин, расположенных по левой и правой сторонам флоат-ванны, температура выработочного канала стекловаренной печи, расход азота, и водорода в ванну на создание защитной атмосферы. С помощью электроподогрева и холодильников управляют температурным режимом формования ленты стекла.

Температура стекла на выходном конце контролируется с помощью пирометра.

Целью имитационного моделирования процесса формования ленты является анализ возможности дальнейшего увеличения качества стекла при меньших затратах электроэнергии. При моделировании выполнялись ограничения, накладываемые на показатели качества стекла:

$$\begin{aligned} \text{Растр: } P_a(t) &\leq 4 \text{ мм,} \\ \text{«Зебра»: } Z_b(t) &\geq 50^0, \\ \text{Разнотолщинность: } P_{T_1} &\leq 0,1 \text{ мм,} \\ P_{T_2} &\leq 0,1 \text{ мм.} \end{aligned} \tag{4.20}$$

Моделирование процесса формования ленты стекла проводилось с экспериментальными данными, собранными с линии ЛПС–2 в течение 2002 года. При моделировании использовались регрессионные уравнения (см. п. 4.2.1 – 4.2.3).

Сравнительные графики фактического температурного режима работы флоат-ванны и результаты моделирования отображены рис. 4.14. Из графиков видна возможность некоторого уменьшения температуры олова

в пролетах, что позволит получить экономию электрической энергии на повторный нагрев на 18 %.

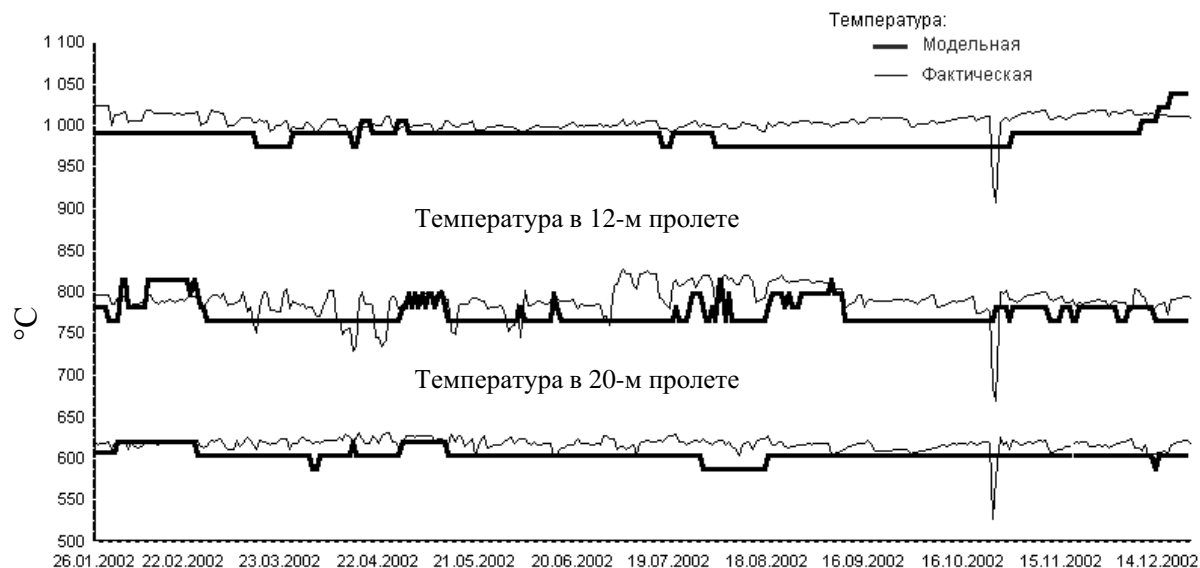


Рис. 4.14. Температура олова в пролетах флоат-ванны фактическая и результаты моделирования

Коррекция режима флоат-ванны не приведет к ухудшению качества формируемой ленты, а наоборот, улучшатся статистические показатели, что видно из графиков на рис. 4.15 – 4.18.

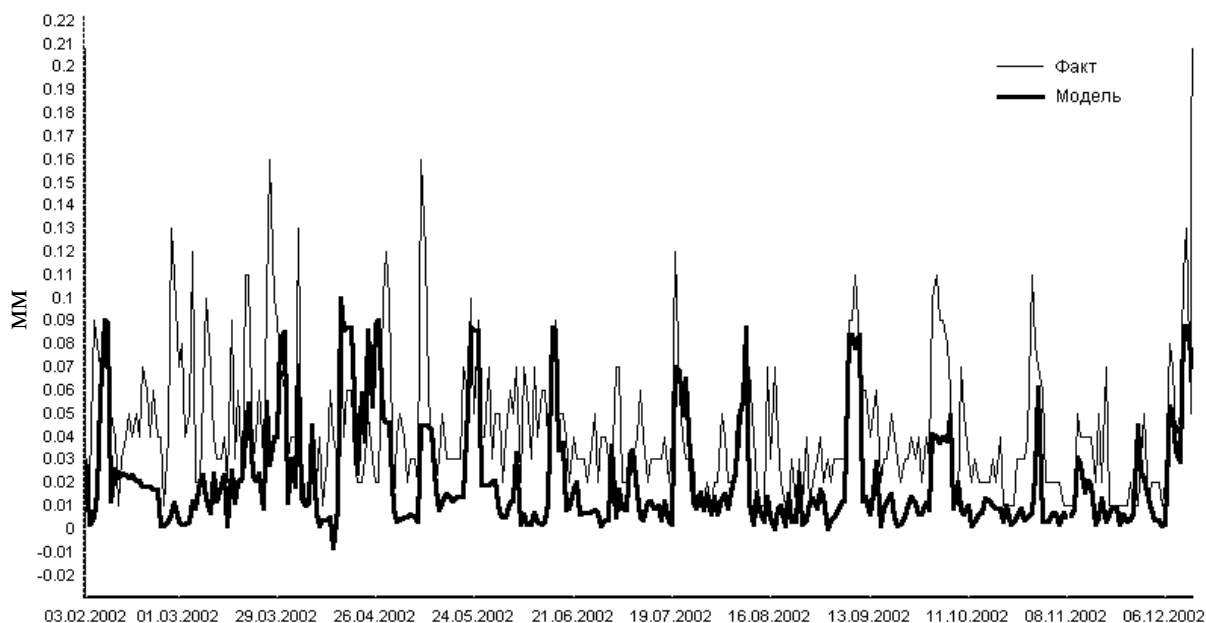


Рис. 4.15. Разнотолщинность ленты стекла первой долянки, фактическая и модельные данные

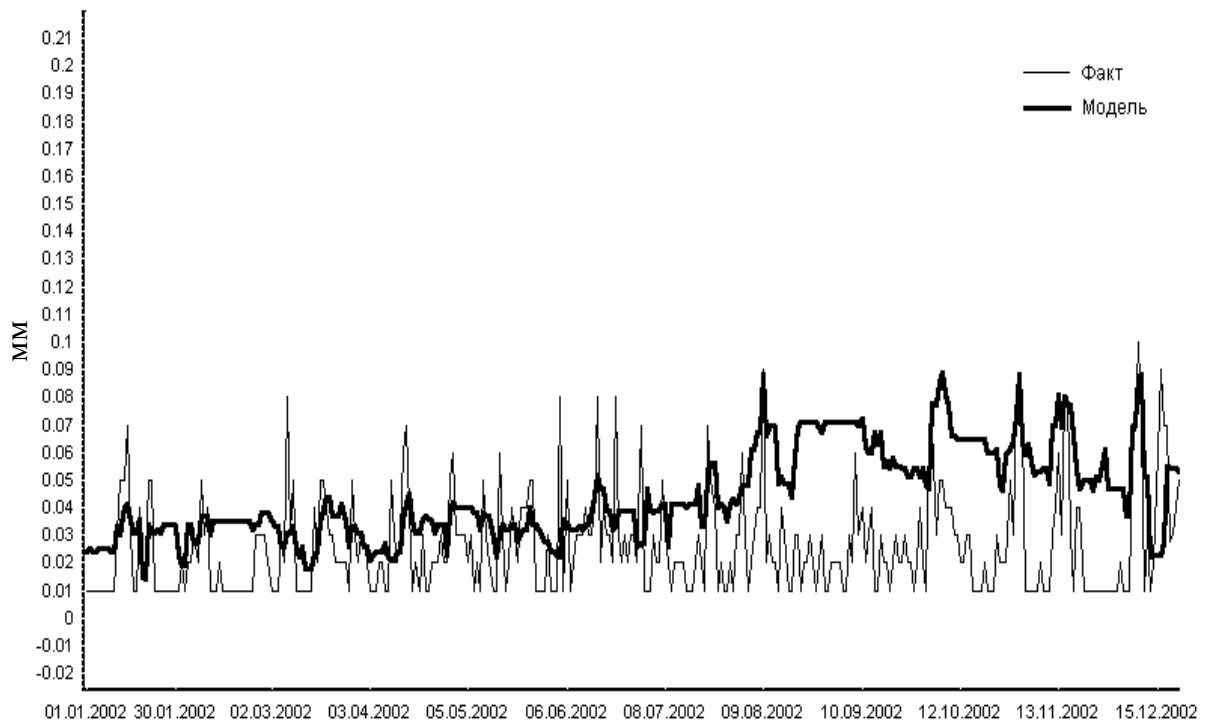


Рис. 1.16. Разнотолщинность ленты стекла, вторая долянка, данные фактические и результаты моделирования

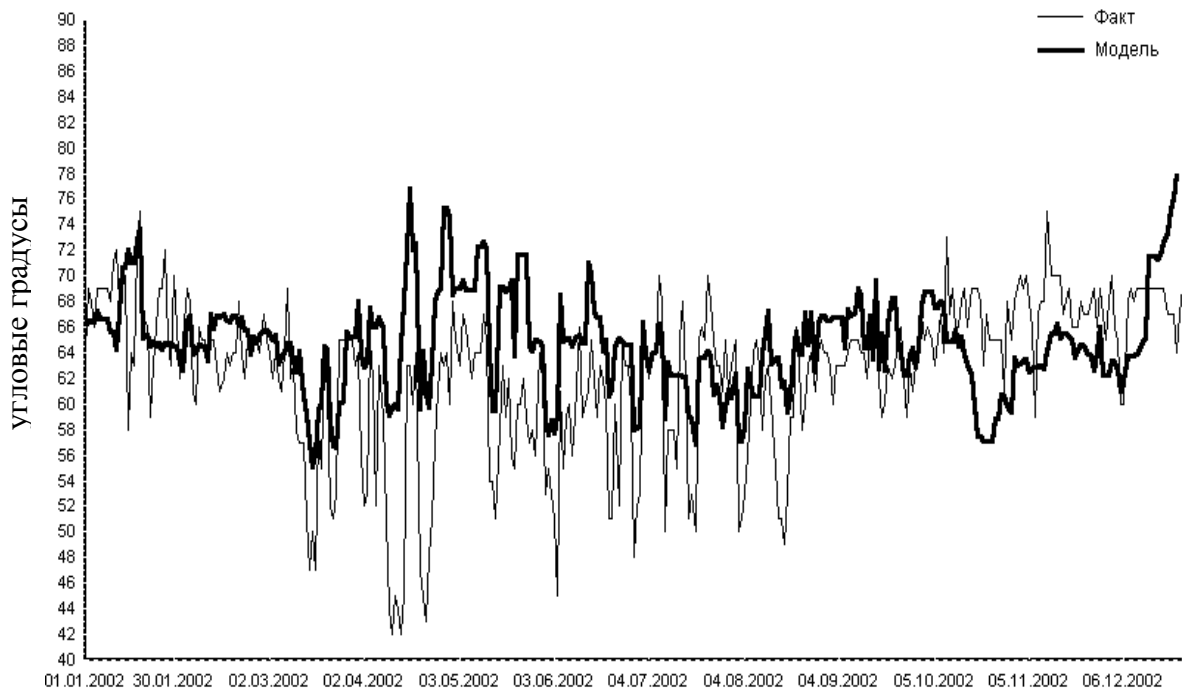


Рис. 4.17. Оптические искажения, измеренные по методу "зебра", фактические и модельные данные

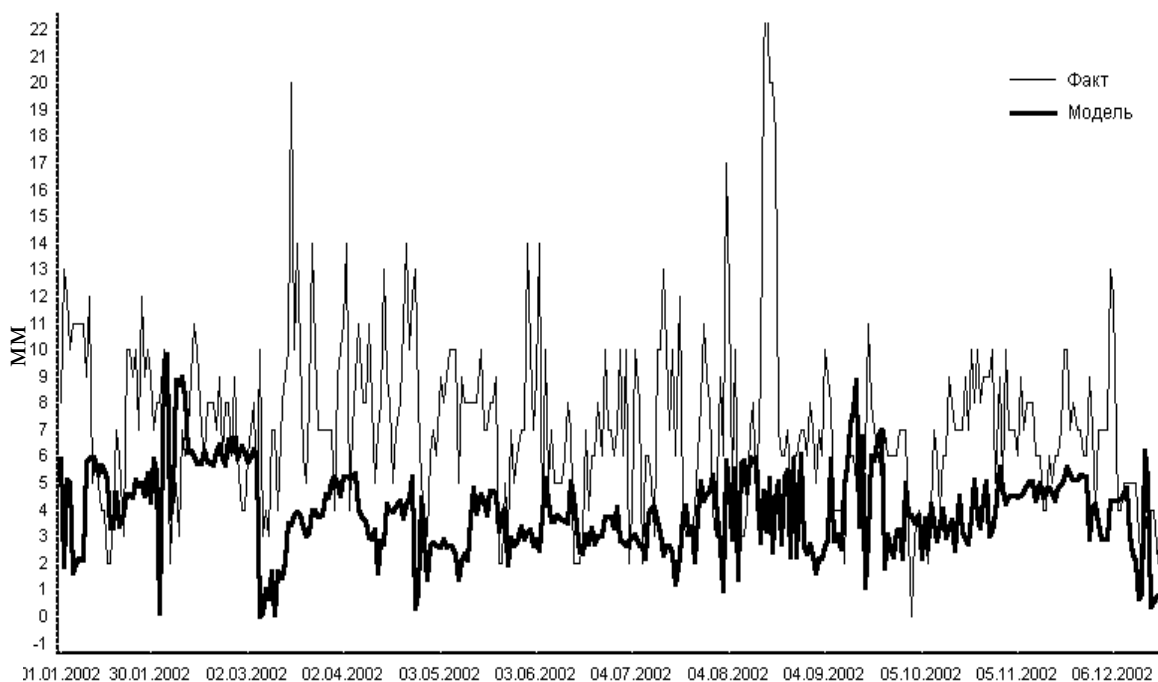


Рис. 4.18. Оптические искажения, измеренные в отраженном свете методом растра, фактические и результаты моделирования

Таким образом, проведенное имитационное моделирование процесса формования ленты стекла показало возможность снижения среднего расхода электроэнергии на повторный нагрев на 18 %.

За счет оптимизации управления тепловым режимом работы флоат-ванны достигается уменьшение средней разнотолщинности вырабатываемого стекла с 0,04 до 0,02 мм на первой долянке, а на второй долянке – останется на прежнем уровне с высокими показателями.

Улучшается показатель растра на первом участке, среднее значение уменьшается с 6,4 до 3,8 мм. Оптические искажения, измеренные по методу «зобра», остаются на прежнем высоком уровне

4.5. Статистические методы в организационном управлении качеством стекла

В соответствии с требованиями стандартов ИСО серии 9000 организация анализирует требования, относящиеся к продукции, поддерживает связь с потребителями для получения информации о продукции, прохождении запросов, контракта или заказа, включая поправки.

Необходимая информация может добываться в результате проводимых опросов, обработки рекламаций и жалоб, поступающих от потребителей. В связи с большим количеством потребителей продукции и разнообразием их требований возникает задача обработки собранного статистического материала и выработки на этой основе мероприятий по улучшению качества продукции с целью наиболее полного удовлетворения требований потребителей.

Статистический анализ данных опросных листов или жалоб может проводиться с использованием математических методов многомерного анализа, основанных на группировке схожих объектов. К числу этих методов относится кластерный и дискриминантный анализы [54]. Анализ данных опросных листов или жалоб может проводиться с использованием кластерного анализа, который содержится в компьютерных программах статистической графики, например Statgraphics Plus. Рассмотрим сущность кластерного анализа в общей постановке задачи.

Пусть имеется n объектов, каждый из которых характеризуется набором k -признаков. Требуется разбить эту совокупность на однородные группы (кластеры). Объекты считаются однородными, если расстояние между объектами в многомерном пространстве анализируемых признаков меньше некоторого задаваемого порогового значения. Различия между элементами, входящими в группу, незначительны, а различия между группами существенны.

Модели на основе кластерного анализа позволяют исследовать однородные по основным технико-экономическим характеристикам и параметрам деятельности социально-экономические объекты и процессы, а также степень их деловой активности.

В стекольном производстве кластерный анализ может использоваться, кроме анализа данных опросных листов и рекламаций, для исследования надежности потребителей стекла и поставщиков сырья, каким внешним организациям можно доверять и т.д.

В качестве примера рассмотрим использование кластерного анализа для обобщения информации, содержащейся в опросных листах о качестве

поставки полированного стекла производства ОАО «Борский стекольный завод». Опросный лист имеет следующую форму:

Таблица 4.7

**КАЧЕСТВО ПОСТАВКИ ПОЛИРОВАННОГО СТЕКЛА
ПРОИЗВОДСТВА ОАО «БОРСКИЙ СТЕКОЛЬНЫЙ ЗАВОД»**

Клиент _____ Город _____ Дата _____

Поставьте любой знак в ячейке, соответствующей Вашей оценке	Нет	При-емле-мо	Да
Качество обслуживания: 1. Оперативность исполнения заказа 2. Точность выполнения всех условий договора 3. Компетентность наших специалистов 4. Уровень понимания Ваших требований 5. Устраивает ли Вас система оплаты 6. Информирование о выполнении заказа			
Качество продукции: 1. Наличие боя стекла 2. Наличие заколов, щербин 3. Наличие матовых пятен 4. Дефекты варки, выработки (пузыри, камни, свили и т.п.) 5. Царапины, механические повреждения стекла 6. Подмочка стекла			
Качество тары: 1. Механические повреждения тары 2. Выступление гвоздей 3. Повреждения (разрыв) стяжной ленты 4. Разрывы защитной пленки 5. Побурение досок тары 6. Отсутствие ярлыка или необходимых надписей на таре			
Качество доставки: 1. Пригодность транспортного средства для перевозки стекла 2. Укрытие тары от осадков (тент, пленка) 3. Разрушение или выпадение опорных (распорных) элементов 4. Смещение блоков стекла при движении			
Предложения:			

Как видно из табл. 4.7, качество оценивается по трехбалльной шкале: нет, приемлемо, да. Для выполнения расчетов качественным оценкам припишем условные числовые коды, соответственно 2, 3, 4. В рассматриваемом случае объектами являются клиенты, а признаками – вопросы опросного листа. Результаты опроса переносятся в сводную таблицу (табл. 4.8). Для конфиденциальности не указано имя клиента, а также для упрощения расчетов приведены не все признаки. Признаки, характеризующие качество обслуживания, условно пронумерованы числами 1, 2, ..6 в порядке их следования в опросном листе (табл. 4.7). Аналогичная нумерация принята для признаков качества продукции.

Таблица 4.8

Показатели качества поставки полированного стекла
по отзывам потребителей

Клиент	Качество обслуживания						Качество продукции					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	4	3	3	4	3	4	4	4	4	3	4	4
2	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4
3	3	3	4	3	3	4	2	3	3	3	3	3
4	3	3	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3
5	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
6	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3
7	4	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3
8	4	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	4
9	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3	4	4
10	4	4	3	4	3	4	3	4	4	4	4	4

Обработав табличные данные (табл. 4.8) методом кластерного анализа, получены две группы клиентов с близкими отзывами о качестве поставляемого стекла. Это наглядно видно из дендограммы (рис. 4.19).

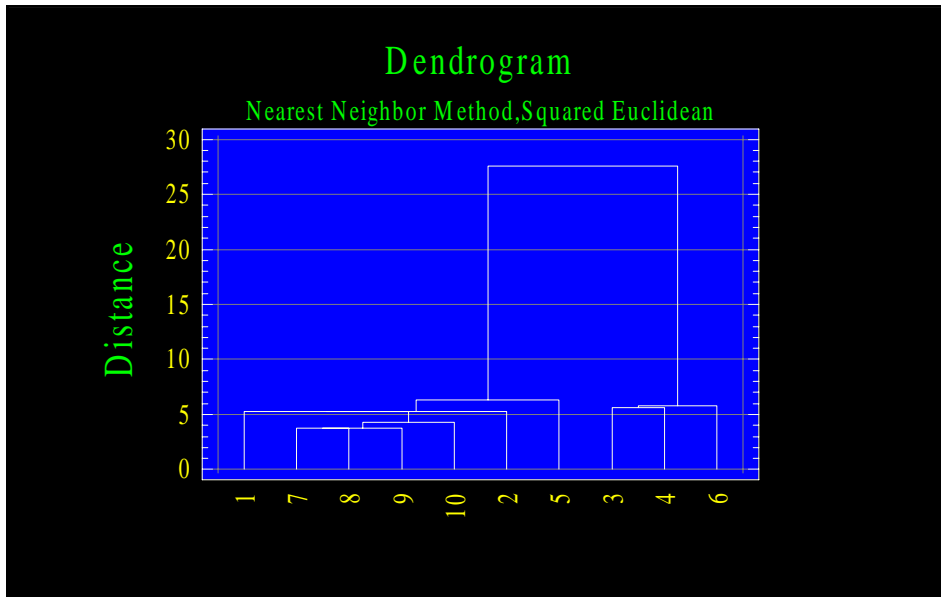


Рис. 4.19. Группировка клиентов по близости отзывов о качестве поставляемого стекла

В первую группу (кластер) входят клиенты с условными кодовыми номерами 7, 8, 9, 10, 1, 2, 5. Расстояние в многомерном пространстве между оценками качества стекла, высказанными клиентами первой группы, не превышает условной величины 6, 28. Во вторую группу входят клиенты с кодовыми номерами 3, 4, 6. Их отзывы между собой также близки, расстояние между оценками качества стекла не превышает 5,75 единиц. Однако отзывы клиентов первой группы о качестве стекла существенно отличаются от отзывов второй группы. Расстояние между оценками двух групп клиентов большое, составляет 27,6 единиц.

Таким образом, кластерный анализ данных опросных листов позволил сгруппировать клиентов по отзывам (рекламациям) о качестве поставляемого стекла и количественно оценить соотношение групп клиентов.

Знание этой информации позволяет отделу управления качеством ОАО «Борский стекольный завод» сосредоточиться в первую очередь на изучении опросных листов клиентов первой (однородной) группы.

Для ранжирования высказываний клиентов о качестве стекла и определения первоочередных действий (мероприятий) по улучшению качества необходимо провести статистический анализ информации, содержащейся в опросных листах клиентов первой группы. В первую очередь необходимо оценить тесноту связи между высказываниями клиентов о качестве продукции. Для чего рассчитывается множественный коэффициент ранговой корреляции (коэффициент конкордации) [54].

Эти расчеты можно выполнить с помощью табличного процессора Excel. При наличии связанных рангов, что имеет место в нашем случае, коэффициент конкордации вычисляется по формуле:

$$W = 12 \cdot S / (m^2 \cdot (n^3 - n) - m \cdot \sum T_j),$$

$$T_j = (1/12) \cdot \sum (t_j^3 - t_j), j = 1, 2, \dots, m,$$

$$S = \sum (R_{\Sigma j})^2 - (\sum R_{\Sigma j})^2 / n,$$
(4.21)

где W – коэффициент конкордации принимает значения в интервале $[-1; 1]$;
 m – количество факторов, в нашем примере число клиентов в группе;
 n – число наблюдений, в нашем случае количество рассматриваемых признаков;

T_j – поправочный коэффициент, учитывающий количество связанных рангов:

Σ – знак суммирования по индексу аргумента;

t_j – количество связанных рангов по отдельным показателям;

$R_{\Sigma j}$ – сумма рангов в строке расчетной таблицы (табл. 4.9);

S – отклонение суммы квадратов рангов от средней квадрата суммы рангов.

Расчет значения коэффициента конкордации проведем по отзывам семи клиентов первой группы. Рассмотрим отзывы о качестве обслуживания и качестве продукции. Сведем результаты отзывов в табл. 4.9. Признаки закодированы двумя цифрами с точкой, первая означает тип призна-

ка (качество обслуживания – 1 и качество продукции – 2), вторая – конкретный вид признака (от 1 до 6 по табл. 4.7).

Таблица 4.9

Расчет коэффициента конкордации

Признаки	Клиенты (их коды)						
	7	8	9	10	1	2	5
1.1	4	4	4	4	4	4	3
1.2	4	4	4	4	3	4	4
1.3	3	3	3	3	3	4	4
1.4	4	4	4	4	4	4	4
1.5	3	3	3	3	3	3	3
1.6	4	4	4	4	4	4	4
2.1	3	3	3	3	4	4	4
2.2	4	4	4	4	4	4	4
2.3	4	4	3	4	4	4	4
2.4	3	3	3	4	4	3	4
2.5	4	4	4	4	4	4	4
2.6	3	4	4	4	4	4	4

Продолжение табл. 4.9

Ранги признаков							Сумма строк (рангов)	Квадрат сумм
R7	R8	R9	R10	R1	R2	R5		
9	8,5	9	8	8	7,5	7,5	57,5	3306,25
9	8,5	9	8	2	7,5	7,5	51,5	2652,25
3	2,5	3	2	2	7,5	7,5	27,5	756,25
9	8,5	9	8	8	7,5	7,5	57,5	3306,25
3	2,5	3	2	2	1,5	1,5	15,5	240,25
9	8,5	9	8	8	7,5	7,5	57,5	3306,25
3	2,5	3	2	8	7,5	7,5	33,5	1122,25
9	8,5	9	8	8	7,5	7,5	57,5	3306,25
9	8,5	3	8	8	7,5	7,5	51,5	2652,25
3	2,5	3	8	8	1,5	7,5	33,5	1122,25
9	8,5	9	8	8	7,5	7,5	57,5	3306,25
3	8,5	9	8	8	7,5	7,5	51,5	2652,25
						Итого:	552	27729

После подстановки в (4.21) табличных данных, с учетом $n=12$, $m=7$, получены следующие результаты:

$$t_j=2;$$

$$T_j = (1/12) \cdot \Sigma(2^3 - 2) = 3,5 \text{ для } j = 1, 2, \dots, 7,$$

$$\Sigma T_j = 24,5,$$

$$S = 27729 - 552^2 / 12 = 2337,$$

$$W = 12 \cdot 2337 / (7^2 \cdot (12^3 - 12) - 7 \cdot 24,5) = 0,33.$$

Значимость расчетного коэффициента конкордации проверяется на основе χ^2 -критерия Пирсона:

$$\begin{aligned} \chi^2 &= 12 \cdot S / (m \cdot n \cdot (n - 1) - \Sigma T_j / (n - 1)) = \\ &= 12 \cdot 2337 / (7 \cdot 12 \cdot (12 - 1) - 24,5 / (12 - 1)) = 30,4. \end{aligned} \quad (4.22)$$

Расчетное значение $\chi^2 = 30,4$ больше критического $\chi^2_{кр} = 19,7$, выбранного из таблицы распределения Пирсона [54] для уровня значимости $\alpha=0,05$ и числа степеней свободы $\nu = n - 1 = 11$. Полученное соотношение свидетельствует о сильной связи между оценками качества стекла, высказанными клиентами первой анализируемой группы.

Данные графы «Сумма строк рангов» табл. 4.9 позволяют обобщить высказывания клиентов о качестве поставляемой продукции и получить итоговый ранжированный ряд: 1.5, 1.3, 2.1, 2, 4, и т.д.

Из примера следует, что наибольшая неудовлетворенность потребителей связана с признаком 1.5 не в полной мере удовлетворяет существующая система оплаты за продукцию, затем 1.3 – компетентность специалистов завода и т.д. Полученная информация ориентирует завод на дальнейшее совершенствование системы оплаты и обучения специалистов завода и т.д.

В соответствии с требованиями ИСО организация предпринимает корректирующие действия с целью устранения причин несоответствий для предупреждения повторного их возникновения. Корректирующие действия могут быть связаны с проведением организационных либо экономических, технических и технологических мероприятий. После их реализации анализируется результативность предпринятых корректирующих действий.

Такой анализ можно проводить с использованием методов статистической оценки связи явлений, не имеющих количественной оценки [54].

При этом оценку качества продукции, выставяемую клиентами, можно рассматривать как качественный признак, характеризуемый значениями «Нет», «Приемлемо», «Да». Второй, качественный признак, характеризует выполненные корректирующие действия, которые имеют два альтернативных значения – «Выполнено» и «Не выполнено». Тесноту связи между качественными признаками можно оценивать количественно на основе расчета и анализа коэффициентов взаимной сопряженности Пирсона и Чупрова.

Коэффициент Пирсона рассчитывается по формулам:

$$K_{\pi} = \sqrt{\varphi^2 / (1 + \varphi^2)},$$

$$1 + \varphi^2 = \Sigma(\Sigma(n_{xy}^2/n_x))/n_x, \quad (4.23)$$

где φ^2 – показатель взаимной сопряженности.

Расчет коэффициента взаимной сопряженности проводится в табличном процессоре Excel с использованием следующей формы (табл. 4.10)

Таблица 4.10

Таблица для расчета коэффициента взаимной сопряженности

X \ Y	Оценка качества стекла			
	Нет	Приемлемо	Да	Всего
Корректирующее действие выполнено	n_{xy11}	n_{xy12}	n_{xy13}	n_{x1}
не выполнено	n_{xy21}	n_{xy22}	n_{xy23}	n_{x2}
Итого	n_{y1}	n_{y2}	n_{y3}	n

В качестве примера рассмотрим оценку эффективности выполненных действий (организационных мероприятий) по совершенствованию системы оплаты за поставленную продукцию. Эта информация добывается из повторного опроса, проводимого после истечения некоторого времени после внедрения действий по совершенствованию системы оплаты. В первую строку табл. 4.11 заносятся ответы всех клиентов на вопрос «Устраивает ли Вас система оплаты?» (данные не реальные). Во вторую строку заносятся сведения из предыдущего опроса, полученные до внедрения корректирующих действий по совершенствованию системы оплаты (см. табл. 4.8).

Таблица 4.11

Таблица для расчета коэффициента взаимной сопряженности Пирсона

X \ Y	Устраивает ли Вас система оплаты?			
	Нет	Прием- лемо	Да	Всего
Корректирующее действие: выполнено	2	4	29	35
не выполнено	0	10	0	10
Итого:	2	14	29	45

Рассчитаем коэффициент взаимной сопряженности Пирсона:

$$1 + \frac{\varphi^2 / 2 + 4^2 / 14 + 29^2 / 29}{35} + \frac{0 / 2 + 10^2 / 14 + 0 / 29}{10} = 1,63,$$

$$\varphi^2 = 1,63 - 1 = 0,63, K_{\pi} = \sqrt{0,63 / 1,63} = 0,62.$$

Чем ближе расчетная величина K_{π} к единице, тем связь теснее. В рассматриваемом примере связь существенная, поэтому можно сделать вывод о том, что корректирующие действия по совершенствованию системы оплаты удовлетворяют большинство клиентов.

В тех случаях, когда результаты корректирующих действий оцениваются количественными показателями, анализ результативности можно проводить, используя статистические методы проверки гипотез о средних и дисперсии, а также применять методы дисперсионного анализа [40]. Рассмотрим действия по коррекции процесса производства стекла, приводящие к улучшению показателей качества продукции, таких как пороки в вырабатываемом стекле, удельный расход газа на ведение процесса и т.д. Проведем сравнительный анализ работы технологической линии ЛПС–2 по показателю удельного расхода тепла на стекловарение до холодного ремонта линии по данным 1998 года и после холодного ремонта по данным 2002 года. Для анализа воспользуемся методом статистики – правилом сложения дисперсий [54].

Среднемесячные показатели по удельному расходу тепла на стекловарение записываются в табл. 4.12 в виде аналитических группировок.

Таблица 4.12

Удельный расход тепла на стекловарение на линии ЛПС–2
до и после холодного ремонта

Месяцы	1998 г.		2002 г.	
	Уд. расход, до ремонта, ккал/кг, g_{1i}	$(g_{1i} - g_1)^2$	Уд. расход, после ремонта, ккал/кг, g_{2i}	$(g_{2i} - g_2)^2$
Январь	2113, 2	57360,25	1541, 45	8, 48
Февраль	1872, 4	0,09	1590,58	2708, 5
Март	1910,6	1436, 41	1583, 61	2031, 57
Апрель	1900,2	756, 25	1556, 55	324, 47
Май	1883, 0	106, 1	1536, 88	2, 74
Июнь	1879, 1	40,96	1535, 05	12, 16
Июль	1842, 8	894	1545, 79	52, 6
Август	1800,5	5212, 84	1514, 21	591, 8
Сентябрь	1825, 6	2218, 41	1479, 55	3479, 47
Октябрь	1816,1	3203, 56	1494, 85	1908, 55
Ноябрь	1812, 4	3636, 1	1543, 83	28, 0158
Декабрь	1816, 0	3214, 89	1540,09	2, 4118
Среднее месячное	$g_1=1872, 7$	$\sigma_1^2=6506, 65$	$g_2=1538,54$	$\sigma_2^2=929,23$

В итоговой строке записаны расчетные значения среднего удельного расхода тепла на стекловарение g_1 , g_2 и оценки дисперсии σ_1^2 , σ_2^2 по годам работы линии ЛПС–2.

Определяем средний удельный расход тепла за два года работы линии:

$$g_{cp} = (g_1 \cdot n_1 + g_2 \cdot n_2) / (n_1 + n_2) = \quad (4.24)$$

$$= (1872, 7 \cdot 12 + 1538, 54 \cdot 12) / (12 + 12) = 1705, 6 \text{ ккал/кг.}$$

Средняя взвешенная из годовых дисперсий равна:

$$\sigma_{cp}^2 = (\sigma_1^2 \cdot n_1 + \sigma_2^2 \cdot n_2) / (n_1 + n_2) = \quad (4.25)$$

$$(6506, 65 \cdot 12 + 929, 23 \cdot 12) / (12 + 12) = 3717, 9.$$

Затем рассчитываем межгодовую дисперсию:

$$\sigma_{1-2}^2 = ((g_1 - g_{cp})^2 \cdot n_1 + (g_2 - g_{cp})^2 \cdot n_2) / (n_1 + n_2) = \quad (4.26)$$

$$((1872, 7 - 1705, 6)^2 \cdot 12 + (1538, 54 - 1705, 6)^2 \cdot 12) / (12 + 12) = 27915,7.$$

Таким образом, общая дисперсия по правилу сложения дисперсий равна сумме:

$$\sigma^2 = \sigma_{cp}^2 + \sigma_{1-2}^2 = 3717,9 + 27915,7 = 31633,6. \quad (4.27)$$

Проверим полученные результаты, вычислив общую дисперсию обычным способом:

$$\sigma^2 = \Sigma\Sigma(g_{ji} - g_{cp})^2 / (n_1 + n_2). \quad (4.28)$$

После подстановки данных получили $\sigma^2 = 31647,3$, расхождение расчетов не превышает 0,05 %, что вполне допустимо.

На основании правила сложения дисперсий можно определить показатель тесноты связи между факторным признаком (в рассматриваемом примере это действия по холодному ремонту линии ЛПС–2) и результативным признаком (изменением удельного расхода тепла на стекловарение). Этот показатель называется эмпирическим корреляционным отношением. Рассчитывается по формуле:

$$\eta = \sqrt{\sigma_{1-2}^2 / \sigma^2}. \quad (4.29)$$

Для нашего примера эмпирическое корреляционное отношение равно:

$$\eta = \sqrt{27915,7 / 31647,3} = 0,94.$$

Величина 0,94 характеризует существенную связь между факторным и результативным признаками. Это позволяет судить об эффективности проведенных действий по холодному ремонту линии ЛПС–2.

Заключение

В монографии изложены основы построения системы менеджмента качества при производстве листового стекла в соответствии с требованиями стандартов ИСО серии 9000. Рассмотрен процессный подход к системе менеджмента качества. Показана эффективность применения IDEF0-методологии для описания системы.

Достаточно подробно рассмотрены особенности применения статистических методов при контроле качества материалов, сырья и продукции, оценке точности и стабильности технологических процессов производства.

Излагаемый материал иллюстрирован примерами использования статистических методов для анализа, регулирования и управления качеством вырабатываемого стекла.

Особое место в монографии уделено применению имитационного моделирования для совершенствования управления процессом

производства стекла. Описываются алгоритмы управления процессами, протекающими в основном технологическом оборудовании. Рассматриваются особенности применения статистических методов в организационном управлении качеством стекла.

Мы постарались дать общее представление об управлении качеством продукции, стандартизации в управлении качеством на примере производства листового стекла флоат-способом, обратив при этом внимание на достижения науки и практики в данной области.

Авторы монографии не претендуют на полноту изложения всех вопросов управления качеством листового стекла. Развитие систем качества – процесс достаточно динамичный. Постепенно происходит накопление опыта по совершенствованию систем качества в стекольном производстве, что несомненно найдет отражение в последующих работах авторов и других специалистов.

Необходимо отметить, что предлагаемая читателям в таком изложении монография по системам менеджмента качества является пионерской в стекольной отрасли. Авторы выражают уверенность, что книга будет полезной работникам стекольных производств, а также специалистам других отраслей, занимающихся вопросами проектирования систем менеджмента качества.

Список источников

1. Управление качеством: Учеб. для вузов / С.Д. Ильенкова, Н.Д. Ильенкова, В.С. Мхитраян и др.; Под ред. С.Д. Ильенковой. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. – 199 с.
2. Гиссин В.И. Управление качеством продукции: Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2000. – 256 с.- (Учебники «Феникса»).
3. Тарбеев В.В. Прогрессивные технологические процессы при производстве полированного стекла на Борском стекольном заводе / Учеб. пособие. Нижний Новгород, 1997. – 115 с.
4. Управление качеством продукции: Учеб. пособие / Под ред. Н.И. Новицкого. – М.: ООО «Новое знание», 2002. – 367 с.
5. ГОСТ Р ИСО 9001 – 2001. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Госстандарт России. – 20 с.
6. Давид Марка, Клемент Мак Гоуэн. Методология структурного анализа и проектирования / Пер. с англ. – М.: 1993, – 240 с.

7. ISO 8402. Международный стандарт. Управление качеством и обеспечение качества – Словарь. – 38 с.
8. ГОСТ 111-2001. Стекло листовое. Технические условия.
9. Розова Н.К. Управление качеством. СПб.: Питер. 2003, – 224 с.
10. Макаров Р.И., Хорошева Е.Р., Лукашин С.А. Автоматизация производства листового стекла (флоат-способ) / Под ред. Р.И. Макарова; Владим. гос. ун-т. Владимир, 2000. – 248 с.
11. Кириллова С.Ю. Разработка моделей и методики идентификации процесса стекловарения в производстве листового стекла. Автореферат канд. дис. по специальности 05.13.06 – автоматизация и управление технологическими процессами и производствами. Владимир, 2002.
12. Макаров Р.И., Лукашин С.А. Моделирование процесса отжига листового стекла // Сб. науч. тр. Компьютерные и информационные технологии обработки и анализа данных. – Муром, 2001. – С.122-126.
13. Будов В. М., Саркисов П.Д. Производство строительного стекла. – М.: Высш. шк., 1977. – 208 с.
14. Фандерлик М. Пороки стекла. – М.: Госстройиздат, 1964.
15. Андрюхина Т.Д., и др. Изменение плотности листового стекла в процессе производства // Стекло и керамика. – 1986. – № 2. – С. 13 – 14.
16. Спирин Ю.Л. и др. Расчет оптимального рецепта шихты // Стекло и керамика. – 1980. – № 11. – С. 6 – 8.
17. Солинов В.Ф., Повитков Г.Ф., Каплина Т.В. Термомеханические свойства силикатного стекла в зависимости от соотношения шихты и боя // Стекло и керамика. – 1991. – № 11. – С. 2 – 3.
18. Солинов В.Ф., Каплина Т.В., Гороховский А.В. Взаимосвязь термомеханических свойств листового силикатного стекла от параметров формования // Стекло и керамика. – 1992. – № 5. – С. 7 – 8.
19. Раевская Е.И., Артамонова Г.И. и др. Направления оптимизации составов листовых термически полированных стекол // Стекло и керамика. – 1991. – № 5. – С. 4 – 5.
20. Солинов В.Ф., Каплина Т.В., Гороховский А.В. Состав защитной атмосферы и водостойкость поверхности силикатного стекла // Стекло и керамика. – 1991. – № 12. – С. 2 – 3.
21. Тыкачинский И.Д. Проектирование и синтез стекол и ситаллов с заданными свойствами. – М.: Стройиздат, 1977. – 144 с.

22. Тыкачинский И.Д., Требушенко Л.А., Сорокина А.Е. Расчет состава стекла в зависимости от комплекса его свойств // Стекло и керамика. – 1985. – № 11. – С. 11 – 13.

23. Автоматизация управления раскроем, резкой и контроль качества листового стекла // Обзорная информация. – М.: ВНИИЭСМ, 1974.

24. Методические материалы для слушателей семинара: «Современный менеджмент качества. Системы менеджмента качества на основе модели ИСО 9001:2000» (для специалистов предприятий). Версия 09.08.2002 г. Российский морской регистр судоходства.

25. ИСО 9000:2000. Системы менеджмента качества – Основные положения и терминологии.

26. ИСО 9001:2000. Системы менеджмента качества – Требования.

27. ИСО 9004:2000. Системы менеджмента качества – Руководство по улучшению.

28. ГОСТ Р ИСО 9000-2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: Госстандарт России.

29. ГОСТ Р ИСО 9004-2001. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности. М.: Госстандарт России.

30. ИСО 14001 – 96. Системы управления окружающей средой. Требования и руководство по применению.

31. ГОСТ Р ИСО10011-1 – 93. Руководящие указания по проверке систем качества. Часть 1. Проверка. М.: Госстандарт России.

32. ГОСТ Р ИСО10011-2 – 93. Руководящие указания по проверке систем качества. Ч 2. Квалификационные критерии для экспертов – аудиторов по проверке систем качества. М.: Госстандарт России.

33. ГОСТ Р ИСО10011-3 – 93. Руководящие указания по проверке систем качества. Ч 3. Менеджмент программы проверок. М.: Госстандарт России.

34. ГОСТ Р ИСО 14001 – 98. Системы управления окружающей средой. Требования и руководство по применению. М.: Госстандарт России.

35. ГОСТ Р ИСО 14004 – 98. Системы управления окружающей средой. Общие руководящие указания по принципам, системам и средствам обеспечения функционирования. М.: Госстандарт России.

36. Макаров Р.И., Хорошева Е.Р., Попов Ю.М., Тарбеев В.В. Модели системы менеджмента качества производства полированного стекла. Данные, информация и их обработка // Сб. науч. ст. М.: Горячая линия – Телеком, 2002, – С.131-134.

37. Системы качества. – CALS.ru, 2002.
38. Тарбеев В.В., Шепелев Д.Н., Бутняков А.И., Цепелева Т.Г. Производство стекла. Н. Новгород: ФГУИПП «Нижполиграф», 2002. – 224 с.
39. ГОСТ 18242-72. Качество продукции. Статистический приемочный контроль по альтернативному признаку. Одноступенчатые и двухступенчатые корректируемые планы контроля.
40. Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. Краткий курс математической статистики для технических приложений. М.: Физматгиз, 1959. – 436 с.
41. Макаров Р.И. Моделирование на ЭВМ инерционных промышленных объектов непрерывных производств // Учеб. пособие. – Владимир, 1985. – 86 с.
42. Энциклопедия кибернетики. В 2 т. Главная редакция украинской советской энциклопедии. Киев. 1975.
43. Лукашин С.А. Автоматизация процесса отжига полированного листового стекла: Автореферат канд. дис. Владимир, 2001. – 14 с.
44. Хорошева Е.Р. Автоматизация процесса стекловарения в производстве листового стекла флоат-способом: Автореферат дис. канд. техн. наук. Владимир, 1999. – 20 с.
45. Солинов Ф.Г. Производство листового стекла. – М.: Стройиздат, 1976. – 288 с.
46. Панкова Н.А. Влияние производительности печи на содержание свилей в термически полированном стекле // Стекло и керамика. – 1994. – № 3 – 4. – С. 10 – 12.
47. Панкова Н.А. Влияние температуры стекломассы на ее конвекцию в зоне варки// Стекло и керамика. – 1980. – № 7.
48. Макаров Р.И. Программный комплекс “Технолог стекольного производства” // Стекло и керамика. – 1993. – № 11 – 12. – С. 29 – 31.
49. Дубов И.Р. Формирование прямых наблюдений и аппроксимация плотности вероятности при округлении экспериментальных данных // Автоматика и телемеханика, 2000. – № 3. – С. 90 – 101.
50. Макаров Р.И., Дубов И.Р., Лукашин С.А. Анализ стабильности производства полированного листового стекла // Стекло и керамика. – 2000. – № 9. – С. 19 – 20.
51. Макаров Р.И., Хорошева Е.Р. Применение математического моделирования при исследованиях и проектировании автоматизированных систем в стекольном производстве // Стекло и керамика. – 1995. – № 11. – С. 3 – 5.

52. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей процессов производства. – М.: Энергия, 1975. – 375 с.

53. Макаров Р.И., Лукашин С.А. Математические модели для статистического анализа и регулирования процесса отжига листового стекла // Стекло и керамика. – 2001. – № 9. – С. 3 – 6.

54. Теория статистики: Учеб. / Под ред. Р.А. Шмойловой. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 576 с.

Научное издание
МАКАРОВ Руслан Ильич
ТАРБЕЕВ Валерий Викторович
ХОРОШЕВА Елена Руслановна
ПОПОВ Юрий Михайлович

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА
(ФЛОАТ – СПОСОБ)

Под редакцией профессора Р.И. Макарова

Редактор Е.П. Викулова
Компьютерная верстка Е.Г. Радченко

ЛР № 020275. Подписано в печать 25.05.03.
Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Усл. печ.л. 11,39. Уч.-изд. л. 12,21. Тираж 100 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс
Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.