

На правах рукописи



Мокляченко Алина Викторовна

**АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА
ЛИСТОВОГО СТЕКЛА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Владимир 2013

Работа выполнена на кафедре «Информационные системы и программная инженерия» (ИСПИ) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ФГБОУ ВПО ВлГУ).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
МАКАРОВ Руслан Ильич
профессор кафедры ИСПИ ВлГУ,
г.Владимир

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
КОБЗЕВ Александр Архипович
зав. кафедрой «Мехатроника и электронные системы автомобилей» ВлГУ,
г.Владимир

доктор технических наук, профессор
ЦЫГАНКОВ Михаил Петрович
профессор кафедры «Кибернетика»
ФГБОУ ВПО «Ярославский технический университет», г.Ярославль

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Костромской государственного технологического университета»,
г.Кострома

Защита диссертации состоится « 05 » 06 2013 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д.212.025.01 при ВлГУ по адресу: г. Владимир, ул. Горького, 87, ауд. -335/1.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ.

Автореферат диссертации разослан « 27 » 04 2013 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу совета университета: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ученому секретарю диссертационного совета Д.212.025.01.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент

ДАВЫДОВ Н.Н.

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

К середине 20 века и, особенно в последние десятилетия в результате быстрого развития промышленности, транспорта, энергетики резко усилилась антропогенная нагрузка на природу; стала очевидной опасность истощения естественных ресурсов, необратимого загрязнения и изменения окружающей среды.

Стекольная промышленность является одной из базовых отраслей экономики и играет важную роль в формировании макроэкономических показателей отдельных регионов и России в целом. Процесс производства стекла характеризуется вовлечением в производство большого количества разнообразных сырьевых материалов и химических веществ (в том числе токсичных), высоким энергопотреблением, значительными потерями тепла и выделением (преимущественно в атмосферу) различных загрязняющих веществ.

Стекольные предприятия отличает то, что характер преобразования ресурсов предопределяет значимое воздействие на окружающую среду и здоровье людей. В производстве различных видов стекол содержание выбросов из стекловаренных печей определяется составом сырьевых материалов, типом печей и видом топлива. Воздействие стекольного производства на окружающую среду определяется как характером технологических процессов и особенностями используемого сырья, так и техническими решениями (средоохранной техникой) и управленческими подходами. Охрана окружающей среды при производстве стекла связана, прежде всего, с уменьшением выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от составных цехов, стекловаренных печей, участков обработки изделий: пыли, оксидов азота, серы, оксидов углерода, оксидов различных металлов.

Вопросам управления качеством, охраной окружающей среды посвящены исследования ученых разных стран: Никифорова А.Д., Федюкина В.К., Шухарта В., Дёминга Э. и др. Серьезную основу для развития теории управления качеством и концепции интегрированных систем менеджмента (ИСМ), прежде всего применительно к стекольному производству, заложили труды отечественных академиков в области химической технологии и стекольного производства Кафарова В.В., Китайгородского И.И., Саркисова П.Д., академик в области теории систем и управления Прангишвили И.В. Накоплен значительный опыт в области интеграции систем управления, важность внедрения ИСМ для предприятий России отражена в работах Адлера Ю.П., Бочарова В.В., Василевской С.В., Гусевой Т.В., Кострова А.В., Макарова Р.И., Свиткина М.З., Тарбеева В.В., Хорошевой Е.Р. и др.

Объект исследования – производство листового стекла флоат-способом.

Предмет исследования – алгоритмы управления технологическим процессом производства листового стекла флоат-способом.

Целью диссертационной работы является минимизации расхода сырьевых и энергетических ресурсов при выработке стекла высокого качества и ограничениях концентрации вредных веществ в выбросах и сбросах.

Поставленная в работе цель достигнута за счет **решения следующих задач:**

1. Проведен анализ производства листового стекла и идентификация воздействий производства на окружающую среду.

2. Разработаны модели, описывающие расход сырьевых, энергетических ресурсов, качество продукции, воздействия производства на окружающую среду.

3. Разработаны алгоритмы управления и принятия решений в производстве листового стекла с учетом влияния производства на окружающую среду.

4. Оценена эффективность алгоритмов управления.

Методы исследования. Поставленные задачи решались с использованием методов теории управления, системного анализа, теории алгоритмов, математического моделирования, а также имитационного моделирования на ЭВМ.

Научная новизна

1. Предложен критерий управления производством полированного стекла на основе системного подхода, учитывающий расход сырьевых и энергетических ресурсов в производстве, качество вырабатываемого стекла, воздействие технологического процесса на окружающую среду и здоровье сотрудников.

2. Разработаны математические модели для линии производства стекла, описывающие зависимость удельного расхода газа на стекловарение от состава шихты и режима варки. Построены линейные уравнения регрессии, описывающие зависимость коэффициента использования стекла от режима работы технологического оборудования и качества шихты.

3. Получены регрессионные уравнения, описывающие зависимость концентрации вредных веществ в выбросах и сбросах от технологического режима производства стекла. Показано, что заболеваемости работников стекольного производства зависит от концентрации вредных веществ в выбросах и вредных веществ в сбросах производства.

4. Разработаны алгоритмы управления технологическим процессом и принятия решений в производстве листового стекла с учетом расхода сырьевых и энергетических ресурсов в производстве, качества вырабатываемого стекла и воздействий на окружающую среду.

5. Предложена методика оценки эффективности системы поддержки принятия решений при управлении технологическим процессом производства листового стекла, учитывающая случайный характер принимаемых решений человеком в контуре управления.

Практическая значимость работы.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что разработанные математические модели, описывающие технологический процесс производства листового стекла флоат-способом, и предложенные алгоритмы управления производством позволяют экономно использовать сырьевые и энергетические ресурсы в процессе производства стекла высокого качества при ограничениях концентрации вредных веществ в выбросах и сбросах.

Результаты диссертационного исследования имеют практическую значимость для стекольных производств отрасли.

Внедрение результатов работы.

Имитационным моделированием алгоритма управления линиями производства листового стекла в ПО «Полированное стекло» ОАО «Эй Джи Си Борский стекольный завод» показана их эффективность: ожидаемое увеличение коэффициента использования стекла в производстве достигает 7-8% при уменьшении концентрации вредных веществ в выбросах и сбросах производства.

Значимость диссертационной работы подтверждается положительными отзывами на работу, полученными из ОАО «Эй Джи Си Борский стекольный завод» и ЗАО «Стромизмеритель» (г. Нижний Новгород).

Разработанная методика оценки эффективности человеко-машинной системы управления применяется в учебном процессе Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.

Апробация и реализация результатов исследования.

Основные научные результаты доложены на: международной научной конференции ММТТ-22 «Математические методы в технике и технологиях», г. Иваново, 2009г.; международной научной конференции ММТТ-23 «Математические методы в технике и технологиях», г. Саратов, 2010г.; международной научной конференции ММТТ-24 «Математические методы в технике и технологиях», г. Киев, 2011г.; международной научной конференции ММТТ-26, г. Нижний Новгород, 2013; на конференции «Реинжиниринг технологических, организационных и управленческих процессов как основа модернизации экономики регионов», г. Кострома, 2010г.; на межвузовских научно-практических конференциях ВЗФЭИ, г. Владимир, 2008г, 2009г, 2010г, 2011г.; на научно-технических конференциях ВлГУ, г. Владимир, 2005-2011гг.

Основные научные результаты, выносимые на защиту:

1. Системный подход к управлению технологическим процессом производства листового стекла, решающий задачу экономного использования энергетических и материальных ресурсов в производстве, обеспечивая высокое качество продукции при ограничениях концентрации вредных веществ в выбросах и сбросах, обеспечивая безопасные условия труда работникам производства.

2. Математические модели, описывающие зависимость коэффициента использования стекла (КИС) и удельного расхода газа в производстве листового стекла флоат-способом.

3. Регрессионные уравнения, описывающие зависимость концентрации вредных веществ в выбросах и сбросах от режимов работы технологического оборудования в производстве стекла. Зависимость заболеваемости работников производства от концентрации вредных веществ в выбросах и сбросах производства.

4. Алгоритмы управления технологическим процессом производства листового стекла, учитывающие расход сырьевых и энергетических ресурсов в производстве, качество вырабатываемого стекла и вредное влияние производства на окружающую среду.

5. Методика оценки эффективности функционирования человеко-машинной системы управления в производстве листового стекла, учитывающая случайный характер принимаемых решений человеком в контуре управления.

Публикации

Основное содержание диссертации отражено в 12 публикациях, из них 2 в журналах, рекомендованных ВАК России.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Содержит 124 страницы основного текста, включает 14 рисунков, 25 таблиц, 2 приложения, список литературы из 76 наименований.

II КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, степень ее разработанности. Сформулированы цели и определены решаемые в диссертации научные задачи. Указана научная новизна работы, теоретическая и практическая значимость. Обоснованы выбранные методы исследования. Сформулированы положения, выносимые на защиту. Обоснована степень достоверности выполненных исследований, указана апробация результатов.

В первой главе «Производство листового стекла флоат-способом и воздействие его на окружающую среду» проведен анализ производства листового стекла флоат-способом как объекта управления. Производство листового стекла относится к числу непрерывных крупнотоннажных и энергоемких производств. Производительность технологических линий по выработке стекла составляет 480-600 тонн в сутки, расход природного газа на варку стекла – $100 \cdot 10^3$ – $130 \cdot 10^3$ м³/сут.

Технологический процесс выработки стекла является многостадийным - содержит стадии подготовки шихты, варки стекла, формования ленты стекла на расплаве олова, отжига ленты стекла, резки и раскроя, складирования продукции. Характер преобразования ресурсов сопровождается вредными воздействиями производства на окружающую среду и заболеваемость работников производ-

ства. Концептуальная модель технологического процесса производства листового стекла приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Концептуальная модель технологического процесса производства листового стекла

В главе проведен анализ вредных воздействий производства стекла на окружающую среду и заболеваемость работников производства. Показано превышение некоторыми вредными веществами, содержащимися в выбросах и сбросах производства, предельно допустимых концентраций. Обоснована необходимость разработки математических моделей, описывающих влияние технологических режимов производства стекла и состава шихты на интенсивность воздействия производства на окружающую природную среду и здоровье работников производства.

Проведена структуризация целей и функций управления технологическим процессом производства листового стекла. Уточнены глобальные цели стекольного производства в современных рыночных условиях: обеспечение стратегического преимущества на рынке стекла над конкурентами; повышение уровня удовлетворённости потребителей стекла; минимизация вредного воздействия результатов деятельности производства на окружающую природную среду. На реализацию перечисленных глобальных целей ориентированы разрабатываемые алгоритмы управления технологическим процессом производства листового стекла.

На действующих стекольных производствах внедрены систем менеджмента качества, экологического менеджмента, профессиональной безопасности и охраны труда. Эти системы решают частные задачи управления в области качества, экологии и охраны труда.

Качество и объем вырабатываемой продукции, интенсивность воздействий производства на окружающую природную среду и заболеваемость работников зависит от технологических режимов стадий производства. Этим обоснована необходимость использования системного подхода к управлению технологическим процессом на стадиях производства листового стекла, что реализуется разрабатываемыми алгоритмами управления.

Поставлена задача управления технологическим процессом производства стекла как минимизация потерь энергетических и сырьевых ресурсов в производстве при выработке планового количества стекла высокого качества и ограничениях вредного воздействия производства на окружающую среду. Выбран метод решения задачи управления с использованием математических моделей, описывающих технологический процесс производства листового стекла флоат-способом.

Эффективность алгоритмов управления оценивается имитационным моделированием с использованием реальных данных, собранных с производства полированного стекла ОАО «Эй Джи СИ «Борский стекольный завод». Использование ретроспективных данных при моделировании позволяет сравнивать эффективность разработанных алгоритмов управления с ручным ведением процесса при одинаковых условиях функционирования системы.

Во второй главе «Разработка математических моделей, описывающих вредное влияние технологического процесса производства листового стекла на окружающую среду» разработаны математические модели, описывающие вредное влияние технологического процесса производства листового стекла на окружающую среду. Проведен анализ влияния технологических режимов производства стекла флоат-способом и состава шихты на концентрацию вредных веществ в производственно-ливневой воде после очистных сооружений (в сбросах).

Обработкой статистических данных производства получены линейные регрессионные модели, адекватно описывающие концентрацию вредных веществ в сбросах:

- алюминия:

$$C_{ал} = 4,44 - 0,0027 * \theta_{1R_1} + 0,0016 * \theta_{12R_1} + 0,0000016 * Q_{z_1} + 0,3 * C_{Na_2CO_3} - 0,00025 * C_{SiO} + 0,23 * C_{K_2O} + 2,98 * C_{SO_4} - 0,088 * Re_1 + 0,0025 * \theta_{1R_2} - 0,01 * \theta_{канал_2} - 0,002 * \theta_{вых_2}$$

с оценками $R^2 = 87,1\%$, $S_e = 0,027$ мг/дм³,

где $C_{ал}$ – концентрация алюминия в сбросах, мг/дм³; θ_{1R_1} – температура олова в первом пролете флоат-ванны 1, °C; θ_{1R_2} – температура олова в первом пролете флоат-ванны 2, °C; θ_{12R_1} – температура олова в 12-м пролете флоат-ванны 1, °C; Q_{z_1} – расход газа на ванную печь 1, м³/ч; $C_{Na_2CO_3}$ – содержание соды в шихте по массе, %; C_{SiO_2} – содержание оксида кремния в стекле по массе, %; C_{K_2O} – содержание калийных солей в шихте по массе, %; C_{SO_4} – содержание сульфатов в шихте по массе, %; Re_1 – число Редокса, окислительно-восстановительная среда в печи 1, д/е; $\theta_{канал_2}$ – температура в выработочном канале печи 2, °C; $\theta_{вых_2}$ – температура ленты стекла на выходе из флоат-ванны 2, °C; R^2 – коэффициент детерминации, %; S_e – стандартная ошибка модели, мг/дм³;

- сульфатов:

$$C_{cy} = 204,85 - 0,4 * \theta_{1R_1} + 0,22 * \theta_{12R_1} + 16,89 * C_{K_2O} + 0,045 * \theta_{ш} - 1,03 * \delta_1 - 9,17 * H_{22} + 0,11 * \theta_{3cm_2} - 0,006 * P_{nn_2}$$

с оценками $R^2=46,15\%$, $S_e=5,612$ мг/дм³,

где C_{cy} – концентрация сульфатов в сбросах, мг/дм³; $\theta_{ш}$ – температура шихты, °C; δ_1 – толщина вырабатываемой ленты стекла на первой линии, мм; H_{2_1} – концентрация водорода в защитной атмосфере флот-ванны 1, %; θ_{3cm_2} – температура стекломассы в печи 2 по показаниям 3-ой донной термопары, °C; P_{nh_2} – мощность повторного нагрева флот-ванны 2, кВт;

- взвешенных веществ:

$$C_{66} = 487,34 + 0,04 * \theta_{1R_1} + 0,13 * \theta_{20R_1} + 44,29 * C_{Na_2CO_3} - 0,055 * C_{SiO} + 8,6 * C_{K_2O} - \\ - 2,94 * Re_1 - 0,6 * Bl - 1,34 * \theta_{канал} - 0,094 * \theta_{1cm_1} + 0,15 * \theta_{2cm_1} - 0,5 * Oxygen_2$$

с оценками $R^2=79,8\%$, $S_e=2,26$ мг/дм³,

где C_{66} – концентрация взвешенных веществ в сбросах, мг/дм³; θ_{20R_1} – температура олова в 20-м пролете флот-ванны 1, °C; C_{Bl} – влажность шихты, %; $\theta_{канал}$ – температура в рабочем канале печи 1, °C; θ_{1cm_1} – температура стекломассы в печи 1 по показаниям 1-ой донной термопары, °C; θ_{2cm_1} – температура стекломассы в печи 1 по показаниям 2-ой донной термопары, °C; C_{O_2} – концентрация кислорода в защитной атмосфере флот-ванны 2, %;

- железа:

$$C_{ж} = 23,34 - 0,0075 * \theta_{1R_1} + 0,0038 * \theta_{12R_1} + 0,006 * \theta_{20R_1} - 0,0000045 * Q_{e_1} - 0,37 * C_{Na_2CO_3} + \\ + 0,05 * H + 0,0007 * C_{SiO} - 0,023 * C_{CaO} + 0,13 * Re_1 - 0,016 * \delta_1 - 0,02 * \theta_{канал} + \\ + 0,002 * \theta_{2cm_1} - 0,00013 * P_{nh_1} + 0,15 * Re_2 + 0,02 * \delta_2 + 0,0032 * \theta_{вых_2}$$

с оценками $R^2=66,38\%$, $S_e=0,077$ мг/дм³,

где $C_{ж}$ – концентрация оксидов железа в сбросах, мг/дм³; $C_{ню}$ – нерастворимые остатки в шихте, %; C_{CaO} – содержание карбонатов в шихте по массе, %; P_{nh_1} – мощность повторного нагрева флот-ванны 1, кВт; δ_2 – толщина вырабатываемой ленты стекла на второй линии, мм;

- нефтепродуктов:

$$C_{нт} = 17,73 + 0,005 * \theta_{1R_1} - 2,2 * C_{Na_2CO_3} + 1,1 * C_{к} + 0,34 * C_{K_2O} - 0,2 * Re_1 + \\ + 0,0045 * \theta_{A_1} + 0,001 * \theta_{D_1} - 0,0057 * \theta_{12R_2} - 0,0064 * \theta_{20R_2} - 0,14 * Re_2 + 0,013 * Oxygen_2$$

с оценками $R^2=72,3\%$, $S_e=0,128$ мг/дм³,

где $C_{нт}$ – концентрация нефтепродуктов в сбросах, мг/дм³; θ_{A_1} – температура в зоне А печи отжига 1, °C; θ_{D_1} – температура в зоне D печи отжига 1, °C; θ_{12R_2} – температура олова в 12-м пролете флот-ванны 2, °C; θ_{20R_2} – температура олова в 20-м пролете флот-ванны 2, °C; Re_2 – число Редокса, окислительно-восстановительная среда в печи 2, д/е.

- химических поглотителей кислорода

$$C_{ХПК} = -262,6 + 0,7\theta_{20R_1} + 30,3C_{CaO} - 0,047C_{SiO_2} + 33,7C_{K_2O} + \\ + 1079,5C_{SO_4} - 15Re_1 - 0,067\theta_{D_1} - 0,16\theta_{1cm_1} + 0,34\theta_{3cm_1} - 0,03V_{БФМ_2} + \\ + 29,6H_{2_1} + 0,36\theta_{12R_2} - 1,15\theta_{20R_2} - 1\theta_{канал_2} - 44,14H_{2_2}$$

с оценками $R^2=89,23\%$, $S_e=4,3$ мг/дм³,

где $C_{ХПК}$ – концентрация химического поглотителя кислорода в сбросах, мг/дм³; θ_{3cm_1} – температура стекломассы в печи 1 по показаниям 3-ей донной термопары, °C; $V_{БФМ_2}$ – скорость бортоформующей машины печи 2; H_{2_2} – концентрация водорода в защитной атмосфере флоат-ванны 2, %;

Проведенные исследования выявили стохастическую зависимость концентрации вредных веществ в ливневых водах стекольного завода после очистных сооружений от состава шихты и технологических режимов стадий производства листового стекла – варки, формования и отжига ленты стекла.

Охрана окружающей среды при производстве стекла связана, прежде всего, с уменьшением выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от составных цехов, стекловаренных печей, участков обработки изделий: пыли, оксида углерода CO , оксида азота NO , диоксида азота NO_2 , серы, примесей оксидов различных металлов. Построены линейные уравнения регрессии, описывающие зависимость оксида углерода CO , оксида азота NO , диоксида азота NO_2 в выбросах стекловаренных печей от режима варки стекла и качества загружаемой в печь шихты.

С использованием статистических данных производства листового стекла получены регрессионные уравнения, описывающие зависимость концентрации оксида углерода CO в выбросах стекловаренных печей:

$$CO_{ЛПС1} = -2713,75 + 0,04Q_G + 151,7C_{Na_2CO_3} - 16,05\alpha;$$

$$CO_{ЛПС2} = -99,92 - 85,84C_{SO_4} + 8,53C_{CaO}$$

где $CO_{ЛПС1}$ – концентрация оксида углерода в выбросах печи 1; $CO_{ЛПС2}$ – концентрация оксида углерода в выбросах печи 2; Q_G – общий расход газа на первую стекловаренную печь, м³/ч; C_c – содержание соды в шихте по массе, %; α – объемное соотношение расхода воздуха к расходу газа на горение первой стекловаренной печи; C_k – содержание карбонатов в шихте по массе, %; C_{SO_4} – содержание сульфатов в шихте по массе, %.

Регрессионные уравнения адекватно описывают результаты наблюдений. Коэффициенты детерминации первого и второго уравнения равны соответственно 95,8% и 99,34%, что позволяет использовать полученные уравнения для интерпретации выявленных зависимостей.

Разработаны регрессионные модели концентрации оксида азота NO в выбросах

$$NO_{ЛПС1} = 149,3 - 0,03Q_G + 0,46G_{CM} - 40,7C_{SO_4};$$

$$NO_{ЛПС2} = 125,4 - 0,03Q_G + 0,63G_{CM} - 48,43C_{SO_4}$$

где $NO_{ЛПС1}$ – концентрация оксида азота печи 1; $NO_{ЛПС2}$ – концентрация оксида азота печи 2; G_{CM} – производительность печи по сваренной стекломассе, т/смена;

Регрессионные уравнения адекватно описывают результаты наблюдений. Коэффициенты детерминации первого и второго уравнения равны соответственно 94,2% и 87,47%, что позволяет использовать полученные уравнения для интерпретации выявленных зависимостей.

Получены регрессионные уравнения, описывающие концентрацию диоксида азота NO_2 в выбросах:

$$NO_{2ЛПС1} = 59,4 - 0,0005 Q_{\Gamma} - 1,8 C_K - 15,96 C_{SO_4} - 0,29 \alpha$$

$$NO_{2ЛПС2} = 46,35 - 0,0067 Q_{\Gamma} - 12,24 C_{SO_4}$$

где $NO_{2ЛПС1}$ - концентрация диоксида азота в выбросах печи 1; $NO_{2ЛПС2}$ - концентрация диоксида азота в выбросах печи 2;

Регрессионные уравнения адекватно описывают результаты наблюдений. Коэффициенты детерминации первого и второго уравнения равны соответственно 97,5% и 85,82%, что позволяет использовать полученные уравнения для интерпретации выявленных зависимостей.

Построенные модели показывают значимое влияние режима стекловарения и состава шихты на концентрацию вредных веществ в выбросах. Разработанные модели имеют разную структуру из-за особенностей технологических режимов работы линий. Линия 1ЛПС работает в «регулируемом» режиме с частыми переходом на выработку стекол разных толщин, что приводит к колебаниям производительности и возмущениям теплового режима работы стекловаренных печей. Линия 2ЛПС характеризуется стационарным режимом работы, поэтому ряд факторов не вошли в модель концентрации выбросов второй стекловаренной печи.

Для выявления вредного влияния производства стекла на заболеваемость работников проводился статистический анализ зависимости заболеваемости работников от концентрации вредных веществ, содержащихся в выбросах и выбросах производства.

Зависимость показателей заболеваемости работников стекольного производства от концентрации вредных веществ в выбросах в атмосферу и концентрации вредных веществ в производственно-ливневой воде описывается линейными регрессионными уравнениями:

$$СлЗ = 4,26 + 2,7 C_{ал} + 5,2 C_{ж} - 0,13 C_{вв} - 0,14 C_{NO} + 0,63 C_{NO_2},$$

$$УмТ = 6,23 + 0,06 C_{нт} + 0,038 C_{су} - 0,039 C_{ж} + 0,034 C_{NO_2},$$

где $СлЗ$ – случаи заболевания в течение месяца в пересчете на 100 работающих; $УмТ$ – временная утрата трудоспособности в течение месяца в пересчете на 100 работающих; C_{NO} - усредненное значение концентрации оксида азота в выбросах, мг/дм³; C_{NO_2} - усредненное значение концентрации диоксида азота в выбросах, мг/дм³.

Регрессионные уравнения адекватно описывают результаты наблюдений. Коэффициенты детерминации первого и второго уравнения равны соответственно 74,4% и 82,83%, что позволяет использовать полученные уравнения для интерпретации выявленных зависимостей.

Разработанные модели могут использоваться на производствах листового стекла флоат-способом при выработке корректирующих действий по уменьшению вредного воздействия производства на окружающую природную среду, а также на заболеваемость работников производства.

В третьей главе «Разработка алгоритмов управления технологическим процессом производства листового стекла» разработаны алгоритмы управления технологическим процессом производства листового стекла флоат-способом. Предложен системный подход к управлению технологическим процессом производства листового стекла, решающий задачу экономного использования энергетических и материальных ресурсов в производстве, обеспечивая высокое качество продукции при ограничениях концентрации вредных веществ в выбросах и сбросах, обеспечивая безопасные условия труда работникам производства.

Формализована задача управления технологическим процессом производства листового стекла. Определена целевая функция и ограничения. Выбран метод штрафных функций для решения сформулированной задачи

Разработаны математические модели, описывающие зависимость удельного расхода газа на ведение процесса стекловарения на первой и второй линиях:

$$q_1 = 0,208 - 0,009 Re - 0,0004 G_{см} + 0,0018 \delta + 0,00008 \theta_{2см}$$

$$q_2 = 0,25 - 0,0002 G_{см} - 0,001 \delta$$

где Re – окислительно-восстановительная среда в пламенном пространстве ванны печи (редокс), д/е; $G_{см}$ – производительность стекловаренной печи, тонн/смена; δ – толщина вырабатываемой ленты стекла, мм; $\theta_{2см}$ – температура стекломассы по показаниям 2-ой донной термопары, °C;

Регрессионные уравнения адекватно описывают результаты наблюдений. Коэффициенты детерминации первого и второго уравнения равны соответственно 68,2% и 63,8%, статистически значимы.

Анализ уравнений показал, что наибольшую чувствительность удельный расход газа имеет к изменению толщины и производительности вырабатываемого стекла.

Коэффициент использования стекла (КИС) является важным показателем работы технологической линии производства листового стекла и связан с выходом годного стекла. КИС рассчитывается оперативно, и эта информация используется для выработки корректирующих действий по управлению технологическим процессом на линиях 1ЛПС и 2ЛПС в ОАО «Эй Джи Си «Борский стекольный завод».

Построены линейные уравнения регрессии, описывающие зависимость КИС от режима работы технологического оборудования и качества приготовления шихты:

$$\begin{aligned} КИС_1 &= 489,8 - 0,077 * \theta_{1R} + 0,12 * \theta_{12R} + 0,002 * Q_e - 0,9 * \delta + 8,5 * C_{Fe2O3} - 32,6 * C_{N2O} \\ КИС_2 &= 1762,82 + 0,16 * \theta_{1R} + 0,116 * \theta_{12R} - 0,7 * \theta_A - 0,78 * \theta_B + 0,43 * \theta_C - \\ &- 0,114 * \theta_D - 4,94 * \theta_{вых} - 21,38 * C_{SiO} + 0,26 * \theta_{canal} \end{aligned}$$

где θ_{1R} - температура олова в первом пролете флоат-ванны, $^{\circ}\text{C}$; θ_{12R} - температура олова в 12-м пролете флоат-ванны, $^{\circ}\text{C}$; Q_z - расход газа на ванную печь, $\text{м}^3/\text{ч}$; δ - толщина вырабатываемой ленты стекла, мм ; $C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ - содержание оксида железа в стекле по массе, %; $C_{\text{Na}_2\text{O}}$ - содержание натриевых солей в шихте по массе, %; θ_A - температура в зоне А печи отжига, $^{\circ}\text{C}$; θ_B - температура в зоне В печи отжига, $^{\circ}\text{C}$; θ_C - температура в зоне С печи отжига, $^{\circ}\text{C}$; θ_D - температура в зоне D печи отжига, $^{\circ}\text{C}$; $\theta_{\text{вых}}$ - температура ленты стекла на выходе из флоат-ванны, $^{\circ}\text{C}$; C_{SiO_2} - содержание оксида кремния в стекле по массе, %; θ_{canal} - температура в выработочном канале печи, $^{\circ}\text{C}$;

Регрессионные уравнения адекватно описывают результаты наблюдений. Коэффициенты детерминации моделей невысокие, равны соответственно 43,2% и 38,76%, статистически значимы при уровне значимости 0,05.

Анализ уравнений показал, что наибольшую чувствительность КИС в процессе производства имеет к изменению химического состава шихты и режима формования ленты стекла в флоат-ваннах.

Для оценки эффективности технологического процесса производства листового стекла сформирован критерий отражающий результативность, ресурсоемкость управления.

Критерий управления технологическим процессом производства листового стекла представлен в виде суммы (Z_{Σ}) потерь энергетических, сырьевых и материальных ресурсов на линиях 1ЛПС и 2ЛПС в процессе выработки стекла:

$$Z_{\Sigma} = \left[\frac{C_c(\delta^{(1)})}{\delta^{(1)} 10^{-3} 2,5} + C_z q^{(1)} \right] G_{\text{см}}^{(1)} (1 - \text{КИС}^{(1)}) + \\ + \left[\frac{C_c(\delta^{(2)})}{\delta^{(2)} 10^{-3} 2,5} + C_z q^{(2)} \right] G_{\text{см}}^{(2)} (1 - \text{КИС}^{(2)})$$

где C_T – стоимость газа, $\text{руб}/\text{м}^3$, $C_c(\delta)$ – стоимость стекла толщины δ , $\text{руб}/\text{м}^2$, $G_{\text{см}}$ – варка стекломассы, тонна в смену, q – удельный расход газа на стекловарение, КИС – коэффициент использования стекла.

Постановка задачи управления технологическим процессом производства листового стекла выглядит следующим образом.

На каждом шаге управления, ежедневно, минимизировать целевую функцию – затраты энергетических, сырьевых и материальных ресурсов в производстве.

При этом накладываются ограничения на качество вырабатываемого стекла на линиях 1ЛПС ($i=1$) и 2ЛПС ($i=2$):

- изменение плотности вырабатываемого стекла в течение суток, $\text{г}/\text{см}^3$:

$$| \text{Пл}^{(i)}(j-1) - \text{Пл}^{(i)}(j) | \leq \Delta \text{Пл}_{\text{макс}}$$

где $\text{Пл} (Q_z^{(i)}, \theta_A^{(i)}, \theta_D^{(i)}, \delta^{(i)}, C_{\text{K}_2\text{O}}, C_{\text{CaO}}, C_{\text{O}_2}, V_{\text{БФМ1}}^{(i)}, \theta_{1\text{см}}^{(i)}, \theta_{2\text{см}}^{(i)}, \theta_{3\text{см}}^{(i)}, C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}, C_{\text{Na}_2\text{O}})$, $j = 2, 3, \dots$ - шаг принятия решений по управлению, $i=1,2$ – соответствующая линия производства листового стекла. $Q_z^{(i)}$ - расход газа на ванную печь, $\text{м}^3/\text{ч}$; $\theta_A^{(i)}$ - температура в зоне А печи отжига, $^{\circ}\text{C}$; $\theta_D^{(i)}$ - температура в зоне D печи отжига, $^{\circ}\text{C}$; $\delta^{(i)}$ - толщина

вырабатываемой ленты стекла, мм; C_{K_2O} - содержание калийных солей в шихте по массе, %; C_{CaO} - содержание карбонатов в шихте по массе, %; $C^{(i)}_{O_2}$ - концентрация кислорода в защитной атмосфере флоат-ванны, %; $V^{(i)}_{БФМ1}$ - скорость первой бортоформирующей машины, $\theta^{(i)}_{1см}$ - температура стекломассы по показаниям 1-ой донной термопары, $^{\circ}C$; $\theta^{(i)}_{2см}$ - температура стекломассы по показаниям 2-ой донной термопары, $^{\circ}C$; $\theta^{(i)}_{3см}$ - температура стекломассы по показаниям 3-ой донной термопары, $^{\circ}C$; $C_{Fe_2O_3}$ - содержание окиси железа в стекле, %; $C_{но}$ - нерастворимые остатки в шихте, %;

- оптические искажения, видимые в проходящем свете, угловые градусы:

$$3\delta^{(i)}(\theta^{(i)}_{12R}, \theta^{(i)}_{1R}, C_{Fe_2O_3}, C_{Na_2O}, \theta^{(i)}_A, \theta^{(i)}_D, \delta^{(i)}, H^{(i)}_2, V^{(i)}_{БФМ1}, Re^{(i)}, \theta^{(i)}_{2см}, \theta^{(i)}_{3см}) \geq 3\delta_{мин};$$

где $\theta^{(i)}_{12R}$ - температура олова в 12-м пролете флоат-ванны, $^{\circ}C$; $\theta^{(i)}_{1R}$ - температура олова в первом пролете флоат-ванны, $^{\circ}C$; C_{Na_2O} - содержание оксида натрия в химическом составе стекла, %. $H^{(i)}_2$ - концентрация водорода в защитной атмосфере флоат-ванны, %; $Re^{(i)}$ - число Редокса, окислительно-восстановительная среда в печи, д/е;

- оптические искажения, видимые в отраженном свете (растр), мм:

$$Pa1^{(i)}(\theta^{(i)}_{1R}, \theta^{(i)}_{12R}, \delta^{(i)}, C_{SiO_2}, C_{CaO}, C_{Fe_2O_3}, Re^{(i)}, \theta^{(i)}_A, \theta^{(i)}_C, \theta^{(i)}_D, \theta^{(i)}_{канал}, C^{(i)}_{O_2}, V^{(i)}_{БФМ1}, H^{(i)}_2) \leq Pa1_{макс};$$

где C_{SiO_2} - содержание оксида кремния в стекле по массе, %; $\theta^{(i)}_C$ - температура в зоне С печи отжига, $^{\circ}C$; $\theta^{(i)}_{канал}$ - температура в выработочном канале печи, $^{\circ}C$;

$$Pa2^{(i)}(\theta^{(i)}_{1R}, \theta^{(i)}_{12R}, \theta^{(i)}_{20R}, \delta^{(i)}, \theta^{(i)}_A, \theta^{(i)}_B, \theta^{(i)}_C, C_{SiO_2}, C_{Fe_2O_3}, \theta^{(i)}_{канал}, Re^{(i)}, Otb^{(i)}, C_{K_2O}, \theta^{(i)}_{вых}, C^{(i)}_{O_2}, V^{(i)}_{БФМ1}) \leq Pa2_{макс};$$

где $\theta^{(i)}_{20R}$ - температура олова в 20-м пролете флоат-ванны, $^{\circ}C$; $\theta^{(i)}_B$ - температура в зоне В печи отжига, $^{\circ}C$; $Otb^{(i)}$ - отходы в результате удаления бортов ленты стекла, %; $\theta^{(i)}_{вых}$ - температура ленты стекла на выходе из флоат-ванны, $^{\circ}C$;

- остаточные внутренние напряжения в стекле, нм/см:

$$\sigma_{мин} \leq \sigma^{(i)}(\theta^{(i)}_{1R}, \theta^{(i)}_{12R}, Q^{(i)}_z, C_{Na_2CO_3}, \theta^{(i)}_A, Otb^{(i)}, \delta^{(i)}, C_{SiO_2}, P^{(i)}_{nn}, V^{(i)}_{БФМ1}) \leq \sigma_{макс}.$$

где $C_{Na_2CO_3}$ - содержание соды в шихте по массе, %; $P^{(i)}_{nn}$ - мощность повторного нагрева флоат-ванны, кВт;

Необходимо выдерживать ограничения на режимные переменные на каждой стадии производства листового стекла – варка стекла в ваннах печей, формование ленты стекла, отжиг ленты стекла:

$$\begin{aligned} \theta^{(i)}_{см1,мин} &\leq \theta^{(i)}_{см1} \leq \theta^{(i)}_{см1,макс}, \\ \theta^{(i)}_{см2,мин} &\leq \theta^{(i)}_{см2} \leq \theta^{(i)}_{см2,макс}, \\ \theta^{(i)}_{см3,мин} &\leq \theta^{(i)}_{см3} \leq \theta^{(i)}_{см3,макс}, \\ \theta^{(i)}_{1,мин} &\leq \theta^{(i)}_{1пр} \leq \theta^{(i)}_{1,макс}, \\ \theta^{(i)}_{12,мин} &\leq \theta^{(i)}_{12пр} \leq \theta^{(i)}_{12,макс}, \\ \theta^{(i)}_{20,мин} &\leq \theta^{(i)}_{20пр} \leq \theta^{(i)}_{20,макс}, \\ \Theta^{(i)}_{а,мин} &\leq \Theta^{(i)}_{а} \leq \Theta^{(i)}_{а,макс}, \\ \Theta^{(i)}_{б,мин} &\leq \Theta^{(i)}_{б} \leq \Theta^{(i)}_{б,макс}, \\ \Theta^{(i)}_{с,мин} &\leq \Theta^{(i)}_{с} \leq \Theta^{(i)}_{с,макс}, \\ \Theta^{(i)}_{д,мин} &\leq \Theta^{(i)}_{д} \leq \Theta^{(i)}_{д,макс}, \end{aligned}$$

$$Q_{г, \text{мин}}^{(i)} \leq Q_{г}^{(i)} \leq Q_{г, \text{мак}}^{(i)}$$

Задаются ограничения на концентрацию вредных веществ в производственно-ливневой воде, мг/дм³:

- концентрация алюминия в производственно-ливневой воде:

$$C_{ал}(\theta^{(i)}_{1R}, \theta^{(i)}_{12R}, Q^{(i)}_{г}, C_{Na_2CO_3}, C_{SiO_2}, C_{K_2O}, C_{SO_4}, Re^{(i)}, \theta^{(i)}_{канал}, \theta^{(i)}_{вых}) \leq C_{ал \text{ макс}}$$

- концентрация сульфатов в производственно-ливневой воде:

$$C_{су}(\theta^{(i)}_{1R}, \theta^{(i)}_{12R}, C_{K_2O}, \theta^{(i)}_{ш}, \delta^{(i)}, H^{(i)}_{г}, \theta^{(i)}_{3см}, P^{(i)}_{пн}) \leq C_{су \text{ макс}}$$

- концентрация взвешенных веществ в производственно-ливневой воде:

$$C_{вв}(\theta^{(i)}_{1R}, \theta^{(i)}_{20R}, C_{Na_2CO_3}, C_{SiO_2}, C_{K_2O}, Re^{(i)}, C^{(i)}_{Вл}, \theta^{(i)}_{канал}, \theta^{(i)}_{1см}, \theta^{(i)}_{2см}, C^{(i)}_{O_2}) \leq C_{вв \text{ макс}}$$

- концентрация железа в производственно-ливневой воде:

$$C_{ж}(\theta^{(i)}_{1R}, \theta^{(i)}_{12R}, \theta^{(i)}_{20R}, Q^{(i)}_{г}, C_{Na_2CO_3}, C_{но}, C_{CaO}, Re^{(i)}, \delta^{(i)}, \theta^{(i)}_{канал}, \theta^{(i)}_{2см}, P^{(i)}_{пн}, \theta^{(i)}_{вых}) \leq C_{ж \text{ макс}}$$

- концентрация нефтепродуктов в производственно-ливневой воде:

$$C_{нп}(\theta^{(i)}_{1R}, C_{Na_2CO_3}, C_{CaO}, C_{K_2O}, \theta^{(i)}_{A}, \theta^{(i)}_{D}, \theta^{(i)}_{12R}, \theta^{(i)}_{20R}, Re^{(i)}, C^{(i)}_{O_2}) \leq C_{нп \text{ макс}}$$

- концентрация химических поглотителей кислорода в производственно-ливневой воде:

$$C_{ХПК}(C_{CaO}, C_{Na_2CO_3}, C_{K_2O}, C_{SO_4}, Re^{(i)}, \theta^{(i)}_{D}, \theta^{(i)}_{1см}, \theta^{(i)}_{3см}, V^{(i)}_{БФМ1}, \theta^{(i)}_{12R}, \theta^{(i)}_{20R}, \theta^{(i)}_{канал}, H^{(i)}_{г}) \leq C_{ХПК \text{ макс}}$$

Ограничения на концентрацию вредных веществ в выбросах, мг/дм³:

- оксид углерода:

$$CO^{(i)}(Q^{(i)}_{г}, C_{Na_2CO_3}, \alpha^{(i)}, C_{SO_4}, C_{CaO}) \leq CO^{(i)}_{\text{макс}}$$

- оксид азота:

$$NO^{(i)}(Q^{(i)}_{г}, G^{(i)}_{см}, C_{SO_4}) \leq NO^{(i)}_{\text{макс}}$$

- диоксид азота:

$$NO_2^{(i)}(Q^{(i)}_{г}, C_{CaO}, C_{SO_4}, \alpha^{(i)}) \leq NO_2^{(i)}_{\text{макс}}$$

Ограничения на показатели заболеваемости работников стекольного производства:

- случаи заболевания:

$$ClЗ(C_{ал}, C_{ж}, C_{вв}, C^{(i)}_{NO}, C^{(i)}_{NO_2}) \leq ClЗ$$

- временная утрата трудоспособности, дни:

$$UmT(C_{т}, C_{су}, C_{ж}, C^{(i)}_{NO_2}) \leq UmT$$

При решении задачи управления (планировании) заданными являются план выработки листового стекла $G_{см}$ и толщина ленты стекла δ .

В четвертой главе «Оценка эффективности алгоритмов управления технологическим процессом в производстве листового стекла флоат-способом» дана оценка эффективности алгоритмов управления технологическим процессом в производстве листового стекла флоат-способом. Эффективность сформулированной задачи управления оценивалась методом имитационного моделирования с использованием статистических данных, полученных с производства полированного стекла ОАО «Эй Джи СИ «Борский стекольный завод». Для проведения имитационного моделирования исполь-

зовалась представительная выборка, состоящая из 365 измерений со среднесуточными данными по каждому анализируемому фактору. Информация, получаемая в течение года, позволяет в полной мере представить все аспекты функционирования двух технологических линий производства листового стекла, влияние возмущающих воздействий, изменения внешней среды и др.

Управление процессом производства листового стекла с использованием алгоритма штрафных функции позволяет более экономно вести технологический процесс по сравнению с ручным управлением. Сравнительные результаты процесса управления отражены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные данные процесса производства листового стекла при различных алгоритмах управления

Показатель	Предельно допустимые значения	Ручной алгоритм управления		Алгоритм управления	
		Среднее значение	СКО	Среднее значение	СКО
КИС, ЛПС №1	%	85,28	11,17	91,52	2,65
КИС, ЛПС №2	%	86,86	6,16	94,11	2,6
Удельный расход газа, ЛПС №1	м ³ /кг	0,22	0,015	0,22	0,006
Удельный расход газа, ЛПС №1	м ³ /кг	0,2	0,01	0,2	0,006
концентрация алюминия в производственно-ливневой воде	0,259 мг/дм ³	0,23	0,074	0,19	0,026
концентрация сульфатов в производственно-ливневой воде	33,04 мг/дм ³	31,66	7,54	27,19	0,99
концентрация взвешенных веществ в производственно-ливневой воде	9,73 мг/дм ³	6,64	4,97	8,3	1,08
концентрация железа в производственно-ливневой воде	0,65 мг/дм ³	0,54	0,14	0,55	0,032
концентрация нефтепродуктов в производственно-ливневой воде	0,29 мг/дм ³	0,47	0,2	0,33	0,096
концентрация оксида азота в выбросах, ЛПС №1	46,8 мг/дм ³	19,35	8,82	22,27	5,65
концентрация оксида азота в выбросах, ЛПС №2	49,98 мг/дм ³	18,9	2,63	18,47	2,45
концентрация диоксида азота в выбросах, ЛПС №1	6,18 мг/дм ³	2,15	1,44	2,25	1,36
концентрация диоксида азота в выбросах, ЛПС №2	6,98 мг/дм ³	0,82	0,44	0,83	0,38
концентрация оксида углерода в выбросах, ЛПС №1	3,16 мг/дм ³	13,73	11,62	13,48	7,81
концентрация оксида углерода в выбросах, ЛПС №2	3,88 мг/дм ³	2,08	1,76	2,27	1,05
случаи заболевания		11,03	1,35	11,6	0,34
временная утрата трудоспособности		5,05	1,4	5,24	1,17
оптические искажения, видимые в проходящем свете (Зебра), ЛПС №1	50 град	51,9	7,08	49,69	6,48
оптические искажения, видимые в проходящем свете (Зебра), ЛПС №2	50 град	69,1	2,24	68,05	2,32
оптические искажения, видимые в отраженном свете (растр1), ЛПС №1	4 мм	4,29	1,7	1,92	0,67
оптические искажения, видимые в отраженном свете (растр1), ЛПС №2	4 мм	3,52	1,14	3,66	0,7
оптические искажения, видимые в отраженном свете (растр2), ЛПС №1	4 мм	1,91	1,27	1,84	0,56
оптические искажения, видимые в отраженном свете (растр2), ЛПС №2	4 мм	1,03	0,39	2,88	0,32

Имитационное моделирование алгоритмов управления технологическим процессом производства стекла подтвердило возможность более экономного использования сырьевых и энергетических ресурсов в производстве листового стекла флоат-способом на действующем технологическом оборудовании при сохранении высокого качества вырабатываемого стекла и ограничениях негативного воздействия производства на окружающую среду.

Разработанный алгоритм используется в СППР в производстве листового стекла. Структурная схема представлена на рисунке 2. Схема работы СППР приведена на рисунке 3.

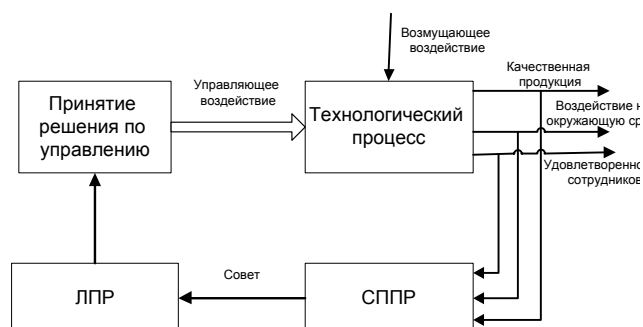


Рисунок 2 - Структурная схема управления процессом производства листового стекла

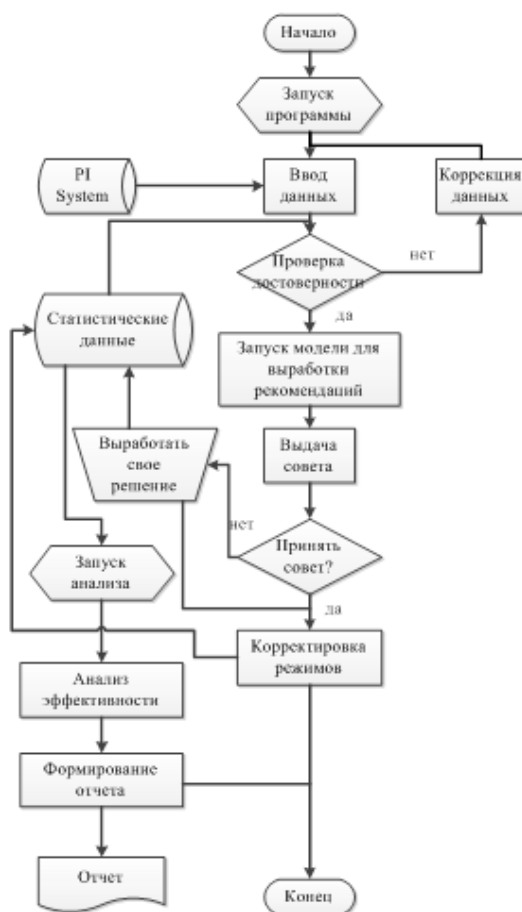


Рисунок 3 - Схема работы СППР

Разработана методика оценки эффективности системы поддержки принятия решений при управлении технологическим процессом производства листового стекла, учитывающая случайный характер принимаемых решений человеком в контуре управления. Действия ЛПР по принятию решений по корректировке режимов работы технологического оборудования 1ЛПС и 2ЛПС моделировались бинарным случайным процессом с вероятностью p . С помощью вычислительного эксперимента оценивалась эффективность функционирования системы при различных вероятностях принятия и реализации ЛПР «советов» СППР по корректировке технологических режимов. Результаты имитационного моделирования приведены в таблице 2.

Таблица 2. Изменение усредненных показателей процесса выработки листового стекла в % в зависимости от вероятности принятия ЛПР «советов», выдаваемых СППР

Показатели процесса выработки стекла	Параметры при ручном управлении, $p=0$	Изменение показателей при вероятности принятия ЛПР «советов»				Автоматическое управление, $p=1,0$
		$p=0,2$	$p=0,4$	$p=0,6$	$p=0,8$	
Коэффициент использования стекла 1ЛПС	85,28 %	1,45	3,12	4,39	5,91	7,33
Коэффициент использования стекла 2ЛПС	86,86%	1,54	3,66	4,71	6,78	8,4
Удельный расход газа 1ЛПС	0,218 м ³ /кг	0,57	0,97	1,04	1,40	1,77
Оптические искажения, видимые в проходящем свете 1ЛПС	51,9 угловые градусы	-1,03	-1,98	-2,18	-3,61	-4,56
Оптические искажения, видимые в проходящем свете 2ЛПС	61,9 угловые градусы	-0,18	-0,52	-0,09	-1,27	-1,47
Оптические искажения, видимые в отраженном свете 1ЛПС	4,29 мм	-10,25	-21,8	-33,16	-46,13	-55,4
Оптические искажения, видимые в отраженном свете 2ЛПС	3,52 мм	0,87	1,08	2,6	3,44	3,9
Концентрация сульфатов в производственно-ливневой воде	31,66 мг/дм ³	-2,9	-5,59	-7,8	-11,39	-14,12

Вычислительный эксперимент показал, что с уменьшением вероятности принимаемых и реализуемых ЛПР «советов» СППР, снижается эффективность корректирующих действий по управлению технологическим процессом. При вероятностях принимаемых ЛПР «советов», меньших 0,4, существенно снижается эффективность корректирующих действий ЛПР.

Для повышения эффективности управления технологическим процессом производства листового стекла ЛПР должен принимать более 40% советов, выдаваемых СППР. При этом можно ожидать улучшения технико-экономических показателей производства листового стекла на имеющемся технологическом оборудовании.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Предложен системный подход к управлению технологическим процессом производства листового стекла, решающий задачу экономного использования энергетических и материальных ресурсов в производстве, обеспечивая высокое качество продукции при ограничениях концентрации вредных веществ в выбросах и сбросах, обеспечивая безопасные условия труда работникам производства.

2. Разработаны математические модели, описывающие зависимость коэффициента использования стекла (КИС) и удельного расхода газа в производстве листового стекла флоат-способом. Показано, что наибольшую чув-

ствительность КИС в процессе производства имеет к изменению химического состава шихты и режима формования ленты стекла в флоат-ваннах, а удельный расход газа - к изменению толщины и производительности вырабатываемого стекла.

3. Получены регрессионные уравнения, адекватно описывающие зависимость концентрации вредных веществ в выбросах и сбросах от режимов работы технологического оборудования в производстве стекла. Показано, что заболеваемость работников производства зависит от концентрации вредных веществ в выбросах и сбросах производства.

4. Формализована задача управления производством листового стекла. Определены целевая функция, представленная функцией штрафа и ограничения, накладываемые на диапазон изменения режимных переменных стадий производства стекла. Разработаны алгоритмы управления технологическим процессом, подтверждена их эффективность имитационным моделированием с использованием данных, полученных с действующего производства листового стекла. Показано, что автоматическое управление позволяет увеличить коэффициент использования стекла в производстве на 7-8% при высоком качестве продукции и ограниченном воздействии на окружающую среду.

5. Разработана методика оценки эффективности системы поддержки принятия решений при управлении технологическим процессом производства листового стекла, учитывающая случайный характер принимаемых решений человеком в контуре управления. Показано, что при использовании ЛПР для корректировки технологического режима более 40% «советов», выдаваемых системой, использование СППР для управления технологическим процессом производства листового стекла оправдано.

6. Результаты диссертационного исследования имеют практическую значимость для стекольных заводов отрасли в производстве листового стекла флоат-способом. Разработанные математические модели, описывающие технологический процесс производства листового стекла, предложенные алгоритмы управления позволяют экономно использовать сырьевые и энергетические ресурсы в производстве, вырабатывать стекло высокого качества при ограничении вредного воздействия производства на окружающую среду.

IV. СПИСОК РАБОТ, В КОТОРЫХ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях из перечня ВАК:

1. Мокляченко, А.В. Оценка негативного влияния процесса стекловарения на окружающую природную среду / А.В. Мокляченко // Вестник Костромского гос. ун-та имени Н.А.Некрасова. Серия: Технические и естественные науки «Системный анализ. Теория и практика». – 2010. – № 1. – С. 75 – 76 (лично автором – 100%).

2. Мокляченко, А.В. Системный подход к управлению технологическим процессом производства листового стекла / А.В. Мокляченко, Р.И. Макаров // ж. «Стекло и керамика». - 2012. - №6. - С.1-3 (лично автором – 50%).

В прочих изданиях:

3. Мокляченко, А.В. К вопросу управления процессом стекловарения в процессе производства листового стекла / А.В. Мокляченко // Трансформация экономики ре-

гионов в условиях устойчивого развития: теория и практика. Материалы межвузовской научно-практической конференции. ВЗФЭИ, г. Владимир - 2008г. - С.232-235 (лично автором – 100%).

4. Мокляченко, А.В. К вопросу управления качеством и экологической безопасностью в стекольном производстве / А.В. Мокляченко // Сборник трудов конференции Школы молодых ученых на базе Тамбовского государственного технического университета. – 2008г. - С. 243-245(лично автором – 100%).

5. Мокляченко, А.В. К вопросу выбора оценки эффективности функционирования системы промышленного менеджмента / А.В. Мокляченко // Вестник филиала ВЗФЭИ, г. Владимир - 2009г. - с.225-227 (лично автором – 100%).

6. Мокляченко, А.В. К вопросу оценки качества интегрированной системы управления производства полированного стекла / А.В. Мокляченко // Математические методы в технике и технологиях ММТТ-22: Сборник трудов конференции Школы молодых ученых (ШМУ-14) - 2009г. - с.144-146 (лично автором – 100%).

7. Мокляченко, А.В. Системный подход к управлению производством листового стекла / Р.И. Макаров, А.В. Мокляченко // Социально-экономические системы: особенности развития, функционирования и управления в условиях инновационной направленности: сборник материалов межвузовской научно-практической конференции, филиал ВЗФЭИ, г. Владимир - 2010г. - с.204-206 (лично автором – 50%).

8. Мокляченко, А.В. Структуризация целей и функций управления технологическими процессами производства листового стекла / Р.И. Макаров, А.В. Мокляченко // Реинжиниринг технологических, организационных и управленческих процессов как основа модернизации экономики регионов: материалы конференции, Костромской государственной университет имени Н.А.Некрасова, г. Кострома - 2010г. - с.113-119 (лично автором – 50%).

9. Мокляченко, А.В. Анализ воздействия вредных веществ на заболеваемость сотрудников / А.В. Мокляченко // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-23: сб. трудов XXIII Междунар. научн. конф.: в 12 т. Т. 6. Секция 7, под общ. ред. В.С. Балакирева. – Саратов: Саратов. гос. ун-т - 2010г. – С.165-167 (лично автором – 100%).

10. Мокляченко, А.В. Формализация задачи управления технологическим процессом производства листового стекла флоат-способом / А.В. Мокляченко, Р.И. Макаров // Алгоритмы, методы и системы обработки данных, Муромский институт (филиал) ГОУ ВПО ВлГУ - 2010г. – с. 118-123 (лично автором – 50%).

11. Мокляченко, А.В. Анализ негативного воздействия производства на окружающую природную среду / Р.И. Макаров, А.В. Мокляченко // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-24: сб. трудов XXIV Междунар. научн. конф.: в 10 т. Т. 4. Секция 4 / под общ. ред. В.С. Балакирева. – Киев: Национ. Техн. Ун-т Украины «КПИ» - 2011г. – С.89-91 (лично автором – 50%).

12. Мокляченко, А.В. Подходы к управлению технологическим процессом производства листового стекла / А.В. Мокляченко // Сборник ВЗФЭИ, г. Владимир – 2011г. – с.125-127 (лично автором – 100%).