

674

Б 24

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. С.М.КИРОВА

На правах рукописи

БАРАШКО ОЛЕГ ГЕОРГИЕВИЧ

674.18.02

УДК 674.18.02:674.816.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ
ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ СО СВЯЗУЮЩИМ В ПРОИЗВОДСТВЕ
ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

05.21.05 - Технология и оборудование деревообрабатывающих
производств ; древесиноведение

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1988

Работа выполнена в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте имени С.М.Кирова.

- Научный руководитель — кандидат технических наук,
доцент Ползик П.В.
- Официальные оппоненты — доктор технических наук,
профессор Леонов Л.В.
— кандидат технических наук
Бучнева Е.А.
- Ведущее предприятие — ПО "Борисовдрев"

Защита состоится 22 марта 1988 г. в 10 часов на заседании специализированного совета К.056.01.01 в Белорусском технологическом институте им. С.М.Кирова (220630, г.Минск, ул. Свердлова, 13а, корпус 4, зал заседаний).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института имени С.М.Кирова.

Автореферат разослан " 19 " февраля 1988 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

ТРОФИМОВ С.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тем. Широкое применение древесностружечных плит (ДСтП) в различных областях народного хозяйства обусловило дальнейший рост их выпуска. По своему характеру производство ДСтП многостадийно. Важное место в нем занимает процесс смешивания древесных частиц со связующим. Он непосредственно влияет как на качественные показатели плит, так и на экономические (стоимость связующего, участвующего только на стадии смешивания составляет 30-35% от общей себестоимости плит). Постоянный компромисс между ними на практике приводит либо к значительному перерасходу связующего, либо к ухудшению их физико-механических свойств. Используемые в настоящее время модели не учитывают основную особенность процесса смешивания - его двойственный детерминированно-случайный характер протекания. Он объясняется широким диапазоном и случайностью изменения основных параметров потока древесных частиц (влажности, породного и фракционного состава). В результате этого возникает неравномерность и случайность распределенности связующего по древесным частицам и влажности осмоленных древесных частиц, приводящих к ухудшению параметров режимов прессования. Дело осложняется отсутствием обобщенных теоретических результатов по моделированию процессов смешивания сыпучих материалов с жидкостями. Дополнительно к этим трудностям возникает при оценке качества готовой смеси, т.к. не имеется эффективных методов оценки распределенности связующего по древесным частицам.

Одним из путей эффективного использования существующих мощностей производства ДСтП является внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) с применением методов оптимизации, позволяющих рационально использовать сырьевые ресурсы. Этим объясняется актуальность задач исследования и разработки оптимального технологического режима процесса смешивания, обеспечивающего заданное качество плит и снижение себестоимости продукции.

Диссертация является составной частью научно-исследовательских работ, выполняемых в Белорусском технологическом институте им.С.М. Кирова в соответствии со сводным координационным планом работ Министерства лесной и деревообрабатывающей промышленности БССР по



разработке и внедрении АСУ, утвержденного 9 февраля 1982 г. и приказом министра лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности СССР № 156 от 2 июня 1982 г.

Цель работы. Создание оптимального технологического режима процесса смешивания древесных частиц со связующим с учетом его вероятностного характера протекания и влияния на физико-механические свойства плит.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие основные задачи: определить существенные параметры для построения модели процесса; создать математическую модель процесса смешивания, учитывающую объективно присущий реальному процессу вероятностный характер протекания; разработать оптимальные технологические режимы процесса с учетом качественных и экономических показателей плит.

Методы исследования. Для решения поставленной в диссертации задачи используются теория графов, информационная теория, математический аппарат теории случайных процессов, методы теории оптимальных процессов. Проверка теоретических результатов проводилась на основе методов цифрового моделирования и экспериментальных исследований.

Научная новизна. Теоретически обоснован и осуществлен выбор значимых параметров для математической модели процесса. Предложена стохастическая модель процесса смешивания, учитывающая его вероятностный характер протекания. Получен информационный критерий качества для определения распределенности связующего по древесным частицам. Разработана методика цифрового моделирования для исследования технологических режимов процесса смешивания. Обоснован выбор оптимального технологического режима процесса, обеспечивающий рациональное использование исходных компонентов смешивания при заданных физико-механических свойствах плит.

Практическая ценность. В результате проведенных исследований предложен единый подход к моделированию и оптимизации процесса смешивания древесных частиц со связующим. В его рамках получены программы расчета интенсивности причинных связей для выбора значимых параметров модели, моделирования технологических режимов процесса смешивания. Разработаны иерархическая структура оптимизации с учетом качественных и экономических показателей плит

и алгоритм расчета оптимального режима процесса смешивания с учетом влияния породного и фракционного составов при вероятностном изменении влажности древесных частиц на входе смесителя. Использование данного подхода позволило улучшить качественные показатели плит, снизить расход сырьевых материалов.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании современного высокоэффективного оборудования для смешивания сыпучих материалов с жидкостями.

Реализация и внедрение результатов работы. Теоретические и практические результаты работы внедрены в Белорусском технологическом институте им. С.М.Кирова при выполнении трех хозяйственных тем научно-исследовательских работ. Математическая модель процесса и алгоритм расчета оптимального технологического режима вошли составной частью в разработанную и внедренную АСУТП в цехе ДСтП ПО "Витебскдрев". Научно-технический эффект работы обусловлен снижением нормы расхода связующего при заданных физико-механических свойствах плит. Результаты работы внедрены с фактическим экономическим эффектом 10,85 тыс. рублей.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на I Международном симпозиуме ИФАК по контролю и управлению процессов деревообработки "Лигноавтоматика-86" (ЧССР, г.Братислава, 1986 г.); на Всесоюзной научно-технической конференции "Состояние и перспективы разработки и внедрения АСУ в лесной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности" (г.Москва, ВДНХ, 1984 г.); на Всесоюзной научной конференции "Комплексное и рациональное использование лесных ресурсов" (г.Минск, 1985 г.); на II Всесоюзном научно-техническом совещании "Создание и внедрение АСУТП" (г.Новгород, 1986 г.); на Республиканских научно-технических конференциях "Автоматический контроль и управление производственными процессами" (г.Могилев, 1979 и 1983 г.г., г.Гомель, 1985 г.); на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Белорусского технологического института им. С.М.Кирова (г.Минск, 1979-1987г.г.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 10 печатных работ и получено 1 авторское свидетельство.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованной литературы и приложения. Работа изложена на 137 страницах машинописного текста и

содержит 48 рисунков и 9 таблиц. Библиография включает 122 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, определен круг решаемых задач, сформулированы цель работы и основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе работы проанализированы основные технологические особенности процесса смешивания, математические методы его моделирования и оптимизации. Показано, что основной особенностью процесса является его двойственно детерминированно-стохастический характер протекания. Необходимость учета вероятностных сторон процесса смешивания объясняется стремлением создать обобщающие представления о его протекании и на этой основе более точно рассчитать процесс. Выявлена роль процесса смешивания как в формировании качественных (физико-механических свойств), так и экономических (себестоимость) показателей плит. Отмечено, что на предприятиях по производству ДСтП предпочитают поддерживать более высокий уровень расхода связующего как гарантию предотвращения выпуска бракованной продукции.

Значительная экономия связующего при заданных физико-механических свойствах плит достигается выбором соответствующего оптимального режима процесса смешивания, учитывающего как качественные так и экономические показатели. Его осуществление возможно на основе иерархической структуры оптимизации с централизованной координацией по всему производству ДСтП (качественные показатели) и децентрализованным выбором соответствующего оптимального режима по локальным процессам плитного производства (экономические показатели).

Определение оптимальных технологических режимов процесса смешивания требует формализации взаимосвязей между основными технологическими переменными в виде математической модели. Исходя из особенностей протекания процесса смешивания следует, что детерминированные модели можно рассматривать как предварительную идеализацию реального процесса. Более глубокое представление о сущности процесса смешивания дает стохастический подход. Создание на его основе математической модели процесса позволит учитывать его вероятностный характер протекания для выбора оптимального режима.

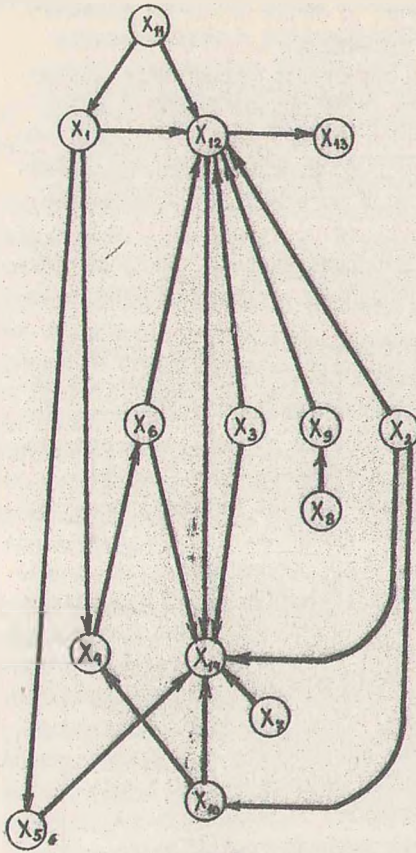
Отмечено, что большое число факторов, влияющих на протекание процесса смешивания, затрудняет выбор значимых параметров для построения модели. Он обосновывался и осуществлялся на возможности получения о них непрерывной информации. Вследствие этого многие характеристики процесса (породный и фракционный составы, распределенность связующего по древесным частицам) не учитывались. Поэтому требуются дополнительные исследования для уточнения параметров, необходимых для построения модели.

Во втором разделе рассмотрены вопросы выбора значимых параметров процесса смешивания, необходимых для построения его математической модели.

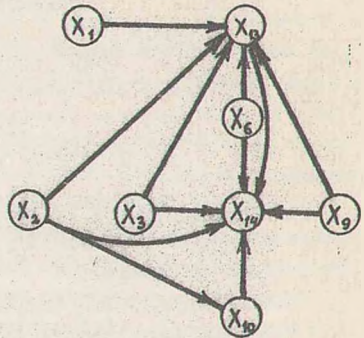
Выбор проведен для типового смесительного оборудования (типа ДСМ-5) и основывался на процедуре топологического анализа. Она сводилась к следующему: представление технологического процесса смешивания в виде структуры и ее декомпозиция на элементы; анализ элементов структуры с установлением причинно-следственных связей между ними; определение интенсивности причинных связей с выделением наиболее значимых.

Разбиение процесса на элементы при декомпозиции основывалось на особенностях его протекания (создание в рабочем объеме смесителя свойственных только для него гидродинамической структуры потоков и физических процессов) и условиях нормального проведения процесса (подвод исходных компонентов с определенными свойствами и их точное дозирование; отвод готовой смеси; аппараты с определенным конструктивным оформлением и подводом энергетических воздействий к компонентам смешивания). С учетом этого при декомпозиции процесса смешивания выделены следующие основные элементы: "Свойства исходных компонентов"; "Дозирование исходных компонентов"; "Конструктивное оформление процесса"; "Условия подачи энергии"; "Гидродинамическая структура потоков"; "Физические процессы, протекающие при смешивании"; "Отвод готовой смеси".

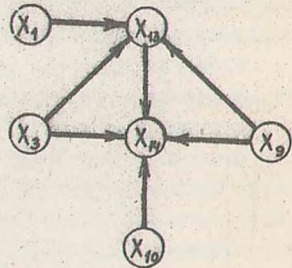
Декомпозиция процесса смешивания на элементы позволила выявить особенности причинно-следственных связей и провести классификацию его причин и следствий. Это послужило основой для представления процесса в виде ориентированного графа причинно-следственных отношений (граф G_1). Полученный граф G_1 предельно упрощен (граф G_2). В нем такие причины, как конструк-



Граф G_1



Граф G_2



Граф G_3

Ориентированные графы G_1, G_2, G_3 причинно-следственных связей процесса смешивания: X_1 - интенсивность воздействия смешивающих органов; X_2 - породный состав; X_3 - расход связующего; X_4 - измельчение древесных частиц; X_5 - разогрев смеси; X_6 - фракционный состав; X_7 - концентрация связующего; X_8 - способ дозирования; X_9 - раскол древесных частиц; X_{10} - влажность древесных частиц; X_{11} - конструктивное оформление процесса; X_{12} - гидродинамическая структура потоков; X_{13} - распределенность связующего по древесным частицам; X_{14} - влажность осмоленных древесных частиц.

тивное оформление процесса, концентрация связующего, способ дозирования, разогрев смеси и измельчение древесных частиц ввиду неизменности или компенсации их действия, не учитывается.

Определение интенсивности причинных связей в графе G_2 сводилось к вычислению парных коэффициентов причинного воздействия. При рассмотрении причинно-следственной связи $X_i \rightarrow X_j$ фактор X_i определяется эмпирическим множеством $\{X_{ki}\}$, а фактор X_j множеством $\{X_{\tau j}\}$, где k и τ отмечают положения величин X_i и X_j в списке статистической выборки. Для этих множеств вычислены соответствующие вероятности состояний $P(X_{ki}), P(X_{\tau j}), P(X_{ki}, X_{\tau j})$. В качестве меры статистической неопределенности состояний факторов процесса использованы функционалы энтропии H_i, H_j и информации J_{ij}

$$J_{ij} = H_i - H_{i|j} = \sum_{(k,\tau)} P(X_{ki}, X_{\tau j}) \log \frac{P(X_{ki}, X_{\tau j})}{P(X_{ki}) P(X_{\tau j})} = \Gamma_{ji} H_i \quad (I)$$

где Γ_{ji} - парный коэффициент причинного воздействия.

Соотношение (I) соответствует предположению, что при статистической независимости факторов процесса X_i и X_j парный коэффициент причинного воздействия $\Gamma_{ji} = 0$. Случай $\Gamma_{ji} = 1$ соответствует однозначной функциональной зависимости между факторами. Для их вычисления была составлена программа на языке Фортран и получена матрица парных коэффициентов причинного воздействия Γ_{ji}

X_1	1							
X_2	0	1						
X_3	0	0	1					
X_6	0	0	0	1				
$\Gamma_{ji} = X_9$	0	0	0	0	1			
X_{10}	0	0,083	0	0	0	1		
X_{13}	0,334	0,061	0,218	0,055	0,528	0	1	
X_{14}	0	0,087	0,424	0,092	0,306	0,491	0,185	1

Анализ матрицы для графа G_2 выявил целый ряд незначимых связей ($\Gamma_{ji} \ll 1$). Такие причины как породный ($\Gamma_{2,10} = 0,083$; $\Gamma_{2,13} = 0,061$; $\Gamma_{2,14} = 0,087$) и фракционный ($\Gamma_{6,13} = 0,055$; $\Gamma_{6,14} = 0,092$) составы хотя и оказывают влияние на показатели качества готовой смеси, но интенсивность их связей невелика. Это позволило существенно упростить граф G_{22} , представив его как граф G_3 . Таким образом, впервые теоретически обоснован выбор значимых параметров

ров для модели процесса; расход древесных частиц и их влажность, расход связующего, интенсивность воздействия смешивающих органов, а также качественные показатели готовой смеси — влажность осмоленных древесных частиц и распределенность связующего по древесным частицам.

Третий раздел работы посвящен построению математической модели процесса смешивания.

Учитывая особенности протекания процесса смешивания, в качестве основного метода получения модели принят аппарат теории случайных марковских процессов, имеющих полное вероятностное описание в форме уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК). При построении математической модели процесса смешивания приняты следующие основные допущения:

1. Протекание процесса рассматривается только по одной (аксиальной) координате $x = \ell/L$ (где ℓ — текущая координата, а L — длина смесителя). Это обусловлено тем, что скорость движения в радиальном направлении (15–20 м/с) намного превышает его скорость в аксиальном (0,15–0,20 м/с).

2. Рассматриваются процессы, происходящие в зонах введения связующего и его перераспределения по древесным частицам как определяющие весь ход процесса смешивания.

3. Поступающее в смеситель связующее полностью распределяется по древесным частицам.

Для того, чтобы уравнение ФПК было полностью определено, оно дополнено соответствующими начальным и граничными условиями. С учетом этого структура стохастической модели процесса смешивания древесных частиц со связующим имеет вид

$$\frac{\partial W(x)}{\partial t} = \frac{\partial^2 (D_x \cdot W(x))}{\partial x^2} - \frac{\partial (V_x \cdot W(x))}{\partial x} \quad (3)$$

начальное условие

$$W(x, 0) = W(x) \quad (4)$$

граничные условия

$$W(x) = W_{\text{входа}}(x) \big|_{x=0} \quad (5)$$

$$V_x W(x) - \frac{\partial (D_x \cdot W(x))}{\partial x} = 0 \big|_{x=1} \quad (6)$$

где $W(x)$ — влажность древесных частиц, %; D_x — коэффициент смешивания, м²/с; V_x — коэффициент скорости процесса смешивания, м/с; x — нормированная аксиальная координата смесителя.

Установлена связь между основным параметром стохастической модели — влажностью древесных частиц (через коэффициент скорости) и распределенностью связующего по древесным частицам. Для определения последнего использована информационная энтропия, которая характеризует неупорядоченность процесса. В отличие от термодинамической энтропии, описывающей только неупорядоченность связанную с хаотическим движением молекул, понятие информационной энтропии не связывается с каким-либо определенным типом неупорядоченности. Чем больше информационная энтропия, тем больше неупорядоченность протекания процесса. Это хорошо согласуется с характером процесса смешивания древесных частиц со связующим, т.к. при увеличении неупорядоченности потоков увеличивается вероятность контактирования связующего и древесных частиц и их распределенности относительно друг друга. Распределенность связующего по древесным частицам охарактеризована параметром, который назван информационным критерием качества процесса смешивания η .

$$\eta = \frac{H_{\text{max}} - H_n}{H_{\text{max}}} \quad (7)$$

где H_{max} — максимальная информационная энтропия процесса смешивания; H_n — информационная энтропия процесса смешивания.

Для определения информационного критерия получена теоретическая функция распределения времени пребывания (РВП), дающая максимальную информационную энтропию процесса смешивания H_{max} . На основании того, что среднее время пребывания частиц в смесителе характеризует как коэффициент скорости, так и распределенность связующего по древесным частицам, предложена функциональная зависимость между ними, определенная экспериментальным путем.

Четвертый раздел диссертации посвящен вопросам цифрового моделирования и экспериментальной проверки полученных теоретических результатов.

Впервые осуществлено экспериментальное определение функций РВП реального процесса смешивания, входящих в информационный критерий качества. Оно проведено методами, оценивающими реакцию технологического процесса на возмущение (ввод в поток трассера — подкрашенных древесных частиц). Для этого один килограмм трассера подавался на вход смесителя (типа ДСМ-5), а на выходе с интервалом I брались пробы, которые проверялись на его наличие. В результате обработки экспериментальных дан-

ных были получены функции РВП реального процесса смешивания. Для оценки их влияния на информационный критерий качества методами имитационного моделирования получено семейство реально возможных функций РВП. Анализ характеристик режимов показывает, что для получения максимальной распределенности связующего по древесным частицам необходимо стремиться к созданию гидродинамического режима с минимальным средним временем пребывания частиц при заданной производительности смесительных аппаратов.

Экспериментально определена связь между расходом потока древесных частиц, распределенности по ним связующего, коэффициентом скорости через среднее время пребывания частиц. Это позволило определить все параметры для стохастической модели вида (3)-(6). Для ее решения был использован численный метод сеток. В результате были получены профили влажности древесных частиц в смесителе (для наружного и внутреннего слоев) в зависимости от начальной влажности, расходов связующего и древесных частиц. Для практического удобства использования полученные кривые аппроксимировались аналитической зависимостью (погрешность между ними составила не более 3%)

$$W_{\text{осн}} = W + \frac{k_{12} Q}{G} \cdot [1 - \exp(-\frac{376 X}{G})] \quad (8)$$

где W и $W_{\text{осн}}$ - влажность древесных частиц до и после смешивания, %; G и Q - расходы древесных частиц (кг/мин) и связующего (л/мин); k_{12} - коэффициент пропорциональности (46 - для внутреннего слоя, 40 - для наружного слоя).

Адекватность модели процесса смешивания проверена и подтверждена по критериям Манна-Уитни при уровне значимости 0.15. Анализируя результаты по численному решению модели, можно отметить неравномерное нарастание влажности по аксиальному профилю смесителя. При изменении расхода древесных частиц от 90 до 70 кг/мин за счет улучшения распределенности связующего по древесным частицам установление влажности осмоленных древесных частиц происходит при значениях аксиальной координаты смесителя 0.9 - -0.7. Поэтому режим смешивания с меньшим средним временем пребывания частиц при заданной производительности смесителя более предпочтителен, т.к. при этом быстрее устанавливается требуемая влажность осмоленных древесных частиц, а ее разброс (дисперсия) относительно конечного значения уменьшается. Предложенная методика расчета процесса смешивания на основе стохастической

модели может быть использована для определения оптимальных конструктивных параметров вновь создаваемого смесительного оборудования.

В пятом разделе рассмотрены вопросы формирования задачи оптимизации и практического применения оптимальных технологических режимов процесса смешивания.

В соответствии с иерархической структурой оптимизации расчет оптимального технологического режима осуществлялся в две стадии. На первой, при максимизации координационного критерия, учитывающего физико-механические свойства плит (предел прочности при растяжении, предел прочности при статическом изгибе, плотность плиты) рассчитывались оптимальные значения для влажности осмоленных древесных частиц. Координационный критерий оптимизации имеет вид

$$J = a_1 X_1 + a_2 X_2 - a_3 X_3 \quad (9)$$

где X_1 — предел прочности при растяжении, МПа; X_2 — предел прочности при статическом изгибе, МПа; X_3 — плотность плиты, кг/м³; a_1, a_2, a_3 — весовые коэффициенты.

Критерий оптимизации вида (9) дополнен ограничениями в виде математических моделей, отражающих зависимости физико-механических свойств плит от режимных параметров. Для их определения на ПО "Витебскдрев" было проведено экспериментальное исследование и получены уравнения взаимосвязей вида

$$X_1 = 0,01X_4 - 0,06X_5 - 0,02X_6 + 0,0005X_7 - 0,003X_8 - 0,3X_9 - 0,06X_{10} - 0,006X_{11} + 0,004X_{12} + 3,6 \quad (10)$$

$$X_2 = 0,45X_4 - 0,018X_5 + 0,82X_6 + 0,23X_7 - 0,08X_8 - 2,56X_9 + 0,7X_{10} - 0,1X_{11} + 0,064X_{12} + 17,65 \quad (11)$$

$$X_3 = 73X_4 - 2,67X_5 + 0,5X_6 + 1,57X_7 + 19X_8 - 6,7X_9 + 17,17X_{10} + 0,31X_{11} - 138X_{12} + 69,9 \quad (12)$$

где X_4 — влажность сухой стружки наружного слоя, %; X_5 — влажность сухой стружки внутреннего слоя, %; X_6 — влажность осмоленной стружки наружного слоя, %; X_7 — влажность осмоленной стружки внутреннего слоя, %; X_8 — масса ковра, кг; X_9 — соотношение слоев ковра; X_{10} — давление прессования, кгс/см²; X_{11} — температура прессования, °C; X_{12} — время прессования, мин.

Решение задачи оптимизации проведено симплекс-методом. Среднеквадратичные отклонения величин X_1, X_2, X_3 до оптимизации были равны 0,044, 2,55, 33,1, а после — 0,009, 0,54, 14,4. Это го-

ворит о том, что разброс физико-механических свойств плит относительно их средних значений после внедрения координационного режима оптимизации уменьшился в, соответственно, 4.9, 4.7 и 2.3 раза. На основе рассчитанных оптимальных значений влажности осмоленных древесных частиц по слоям имеется возможность обобщенно сузить ее диапазон с 13-16% до 14-15% для наружного слоя и 10-13% до 11.5-12.5%. Таким образом, координационный критерий оптимизации рассчитывает оптимальные уставки для процесса смешивания древесных частиц со связующим с учетом его влияния на физико-механические свойства плит.

Вторая стадия оптимизации заключалась в расчете оптимального технологического режима непосредственно процесса смешивания. Для этого критерием оптимизации выбрана функция, минимизирующая соотношение расходов исходных компонентов смешивания, Модель процесса (8) используется при оптимизации как вероятностное ограничение (случай, когда значение входной влажности древесных частиц носит вероятностный характер). Анализ выборки влажности древесных частиц на входе в смеситель показывает, что ее изменение подчиняется нормальному закону распределения с соответствующими математическим ожиданием $M[W]$ и дисперсией $D[W]$. На основе методов стохастического программирования вероятностное ограничение заменено эквивалентным линейным ограничением с учетом этих вероятностных характеристик. Задача второй стадии оптимизации процесса смешивания сформулирована следующим образом

$$F = k_{11} X_A \rightarrow \min \quad (13)$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} X_B - k_{12} X_A &= M[W] + K_d \sqrt{D[W]} \\ X_A^{\min} \leq X_A \leq X_A^{\max} & \quad X_B^{\min} \leq X_B \leq X_B^{\max} \end{aligned} \quad (14)$$

где X_A - норма расхода связующего, %; X_B - влажность осмоленных древесных частиц, %; $k_{11} = 100 \frac{K}{100-W}$; K - концентрация смолы, %; W - влажность древесных частиц, %; K_d - значение нормированной случайно распределенной величины.

Ее решение проведено симплекс-методом. Полученные результаты по выбору оптимального режима процесса смешивания для основных технологических случаев показывают, что уменьшение разброса нормы расхода связующего относительно его среднего значения при введении оптимального режима составило 2.1 раза. Это

позволило уменьшить расход связующего на 2-3% при заданных физико-механических свойствах плит.

Вопросы практической реализации оптимального режима тесно связаны с определением чувствительности решения к изменениям параметров модели (изменение породного и фракционного составов), т.е. необходимостью постоянной корректировки оптимального режима. Для этого разработан алгоритм расчета оптимального режима процесса смешивания, позволяющий, с одной стороны, постоянно поддерживать оптимальный режим работы смесителя, а с другой, повысить точность решения за счет периодической подстройки математической модели к реальному процессу.

Математическая модель и алгоритм расчета оптимального режима процесса смешивания вошли составной частью в разработанную и внедренную АСУТП в цехе ДСТП ПО "Витебскдрев".

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе содержится новое решение актуальной научной задачи моделирования и оптимизации одной из важнейших стадий производства ДСТП: процесса смешивания древесных частиц со связующим, позволяющее определить его оптимальный режим с учетом вероятностного характера протекания и влияния на физико-механические свойства плит.

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы и предложения:

1. Теоретически обоснован и осуществлен выбор существенных параметров для математической модели процесса смешивания. Для этого проведен топологический анализ причинно-следственных связей между параметрами процесса. Установлено, что для построения модели достаточно иметь информацию о влажности древесных частиц до и после смешивания, расходах связующего и древесных частиц, интенсивности воздействия смешивающих органов и распределенности связующего по древесным частицам.

2. Получена структура стохастической модели процесса смешивания, в которой раскрыта сущность присущих ему явлений и закономерностей и представляющая собой дифференциальное уравнение в частных производных типа Фоккера-Планка-Колмогорова. Исходя из конкретных для нее условий, выбраны соответствующие начальные и граничные условия. Выявлена и определена связь между распределен-

ностью связующего по древесным частицам и входящим в математическую модель коэффициентом скорости.

3. Предложен информационный критерий качества готовой смеси (распределенность связующего по древесным частицам). Получение критерия основано на отличии информационной энтропии, являющейся мерой неупорядоченности процесса смешивания от ее максимального теоретического значения. Данный критерий является вероятностной оценкой распределенности связующего по древесным частицам.

4. Впервые для описания процесса смешивания древесных частиц со связующим экспериментально определен конкретный вид функций распределения времени пребывания. Анализ характеристик режимов показал, что для получения максимальной распределенности связующего по древесным частицам необходимо стремиться к созданию в смесителе гидродинамического потока с минимальным средним временем пребывания частиц при заданной производительности смесительных аппаратов.

5. Получены профили изменения влажности древесных частиц по аксиальной координате смесителя в зависимости от основных технологических параметров. Они показывают, что ее быстрое достижение до заданного значения возможно за счет улучшения распределенности связующего по древесным частицам. Данный подход может быть использован для определения оптимальных конструктивных параметров вновь создаваемого смесительного оборудования.

6. Сформирован координационный критерий оптимизации, позволяющий учесть влияние процесса смешивания на физико-механические свойства плит. Применение рассчитанных на его основе оптимальных режимов уменьшает разброс физико-механических свойств плит относительно их средних значений в 2-4 раза.

7. Разработан алгоритм расчета оптимального технологического режима процесса смешивания, минимизирующий расход исходных компонентов с учетом его вероятностного характера протекания. Данный алгоритм позволяет одновременно с поддержанием оптимального режима производить периодическую коррекцию математической модели с целью учета влияния породного и фракционного составов.

Внедрение оптимального режима позволило снизить расход связующего на 2-3% при заданном качестве плит. Годовой экономичес-

кий эффект от внедрения результатов работы на технологическом процессе производства ДСтП ПО "Витебскдрев" составил 10,85 тыс.рублей.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

1. Барашко О.Г., Андриевский О.А., Чечко Д.И., Каждан С.А. Управление процессом осмоления по косвенным оценкам параметров// Автоматический контроль и управление производственными процессами: Тез. докл. науч.-техн. конф.-Могилев, 1979.-С. 62-63.

2. А.с. 971668, МКД³ В 29 J 5/02. Устройство для стабилизации соотношения древесной стружки и связующего / Барашко О.Г., Каждан С.А., Ползик П.В., Шейн Б.И. (СССР).

3. Барашко О.Г. Алгоритм управления процессом осмоления при производстве древесностружечных плит // Автоматический контроль и управление производственными процессами: Тез. докл. науч.-техн. конф.-Могилев, 1983.- С. 116.

4. Барашко О.Г., Ползик П.В. Вероятностные модели в АСУТП производства ДСтП: процесс смешивания // Состояние и перспективы разработки и внедрения АСУ в лесной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности: тез. докл. всесоюз. научн.-техн. конф.- М., 1984.- С. 79.

5. Барашко О.Г., Ползик П.В. Функции распределения времени пребывания древесных частиц в быстроходном смесителе // Сб.науч. тр. / БТИ им. С.М.Кирова.- 1985.- Вып. 15: Механическая технология древесины.- С. 31-35.

6. Барашко О.Г. Система цифрового управления процессом смешивания древесных частиц со связующим // Опыт создания и пути повышения эффективности функционирования АСУП и ТП: Тез. докл. научн.-техн. конф.- Гомель, 1985.- ч. 2.- С. 100-101.

7. Барашко О.Г., Ползик П.В., Кишкурно Т.В. Опыт внедрения прямого управления процессами производства древесностружечных плит // Создание и внедрение систем автоматического и автоматизированного управления технологическими процессами: Тез. докл. II всесоюз. научн.-техн. совещания.- Новгород, 1986.- С. 114.

8. Барашко О.Г. Информационный критерий качества смешивания древесных частиц со связующим // Деревообрабатывающая промышленность.- 1986.- № 2.- С. 5-6.

9. Barashko O.G. Polzik P.V. The Control method of quality of the process of mixing in particleboard production // Automatic measurement and control in woodworking industry: 1-st IFAC International simposium.-Bratislava, CSSR, 1986.-P.67-69.

10. Барашко О.Г., Ползик П.В. Стохастическая модель процесса смешивания древесных частиц со связующим в производстве древесностружечных плит // Известия ВУЗов. Лесной журнал.- 1986.- № 6.- С. 83-87.

11. Барашко О.Г. Моделирование режимов смешивания древесных частиц со связующим // Деревообрабатывающая промышленность.- 1987.- № 3.- С. 9-11.

Отзвы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями просим прислать по адресу: 220630, г.Минск, ул. Свердлова, 13а, БТИ, Ученый совет.

