

Авторефер.
к 18

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ им. М. В. ЛОМОНОСОВА

Инженер А. Я. КАМИНСКИЙ

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ
СИСТЕМ ПРОЦЕССА КРУПООБРАЗОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ
ДЛЯ ИХ СТАБИЛИЗАЦИИ
НА МЕЛЬНИЦЕ СОРТОВОГО ПОМОЛА

Специальность № 05.374 — технология зерновых,
бобовых и крупяных культур

(Работа написана на русском языке)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса — 1972

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ им. М. В. ЛОМОНОСОВА

Инженер А. Я. КАМИНСКИЙ

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ
СИСТЕМ ПРОЦЕССА КРУПООБРАЗОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ
ДЛЯ ИХ СТАБИЛИЗАЦИИ
НА МЕЛЬНИЦЕ СОРТОВОГО ПОМОЛА

Специальность № 05.374 — технология зерновых,
бобовых и крупяных культур

(Работа написана на русском языке)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

V. 012008

Одесский технологический
институт пищевой промыш-
ленности им. М. В. Ломоносова
БИБЛИОТЕКА

Переучет 1987

Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства на 1971—1975 гг. предусматривается обеспечить значительный подъем материального и культурного уровня жизни народа на основе высоких темпов развития социалистического производства, повышения его эффективности, научно-технического прогресса и ускорения роста производительности труда. Планом развития мукомольной промышленности намечено увеличить производство муки в 1975 г. по сравнению с 1970 г. на 7,5%, а муки высоких сортов — на 35%.

Для достижения указанного уровня предусматривается большая программа работ по строительству и вводу новых производственных мощностей, а также по расширению и реконструкции действующих предприятий.

Особое значение в этом плане принадлежит научно-техническому прогрессу в зерноперерабатывающей промышленности, направленному на изыскание эффективных путей улучшения количественно-качественных показателей производства.

Процесс крупобразования является одним из основных этапов сортового помола пшеницы. Выход и качество муки во многом зависят от эффективности работы как отдельных систем, составляющих процесс крупобразования, так и всего процесса в целом. Поэтому стабилизация режимов систем процесса крупобразования на оптимальном уровне является решающим фактором, способствующим повышению эффективности всего технологического процесса производства муки.

Состояние вопроса о процессе крупобразования и задачи исследования

Большую роль в развитии науки об измельчении зерна сыграли теоретические и экспериментальные исследования отечественных ученых и специалистов, таких как П. Афанасьев, К. Зворыкин, П. Козьмин, П. Эйдус, Я. Куприц, В. Гиршон, А. Панченко, С. Хусид, Л. Айзикович, П. Тарутин, М. Правдин, С. Щербаков, П. Бершак и другие.

Исследовательские работы Е. Козьминой, П. Эйдуса, Л. Айзиковича, А. Панченко, Л. Котляра, Г. Креймермана, А. Данилина, Н. Соколова, С. Хусида, А. Братухина, И. Наумова, И. Мамбиша, Н. Федотова и других и их рекомендации по интенсификации процесса крупобразования являются основой организации и ведения этого процесса на современных мельницах. Благодаря работам этих ученых установлены частные зависимости между входными и выходными параметрами процесса и найдены оптимальные значения установочных параметров для отдельных систем. Однако в указанных работах не выявлена взаимосвязь режимов работы последующих систем от предыдущих, знание которых необходимо для автоматизации процесса крупобразования:

Для автоматизации отдельных систем изучаемого процесса различными авторами предложен ряд контролируемых параметров. Сущность этих предложений сводится к определению степени измельчения косвенным или прямым методом.

Анализ косвенных методов, проведенный Е. Каплиной, показал, что они не могут дать достоверную информацию о степени измельчения при изменении физико-технологических свойств зерна, состояния рабочей поверхности валцов, нагрузки и других факторов. Наибольшее распространение получил прямой метод оперативного контроля степени измельчения в потоке. Разработки по этому методу можно условно разделить на три направления:

- ситовой анализ отбираемых проб (А. Панченко, Л. Котляр, И. Мамбиш, Е. Шигин, Е. Демидов и другие);
- применение производственной просеивающей машины — рассева в качестве дисперсоанализатора продуктов измельчения (Я. Портнов, А. Птушкин, Е. Каплина);
- применение специальных устройств для предварительного разделения продуктов измельчения на две фракции (Г. Гальперин, В. Поляков, К. Герекке, А. Поп и другие).

Анализ выполненных работ и предлагаемых устройств для автоматизации процесса измельчения позволяет сделать вывод о том, что все предлагаемые решения и устройства относятся к автоматизации валцового станка как основной измельчающей машины и не ставят своей целью автоматизировать отдельные этапы технологического процесса на мельнице или весь технологический процесс в целом.

Известно, что оптимизация отдельной системы в сложном технологическом процессе, каким он является на мельнице сортового помола, не оказывает существенного влияния на эффективность производства. В этой связи возникает необходимость поэтапного решения вопросов, связанных с автоматизацией технологического процесса мельницы. Поскольку этап крупобразования, как часть общего техноло-

гического процесса, является наиболее важным для получения максимального количества круподунстовых продуктов высокого качества, то повышение эффективности этого процесса на основе автоматизации окажет решающее влияние на весь технологический процесс размола зерна.

Целью данной работы является изыскание способов повышения эффективности процесса крупобразования для улучшения количественно-качественных показателей муки общего выхода.

В задачу исследования входило:

— исследование и обоснование параметров оптимизации процесса крупобразования;

— исследование эффективности процесса крупобразования и установление взаимосвязи режимов систем этого процесса;

— определение алгоритма управления процессом крупобразования;

— разработка и испытание устройств, обеспечивающих непрерывный контроль за величиной общего извлечения на крупобразующих системах;

— определение статических и динамических характеристик объекта «вальцовый станок — вибросепаратор».

Экспериментальная база и методика исследования

В соответствии с целью и задачами исследования была разработана принципиальная технологическая схема стабилизации режимов систем процесса крупобразования (рис. 1), которая предусматривает выполнение операций управления при нарушении установившегося режима. В основу системы автоматической стабилизации режимов работы крупобразующих систем положен принцип регулирования по отклонению, заключающийся в следующем. Продукт после измельчения на вальцовом станке поступает в вибросепаратор, который делит его на две фракции — сходовую (С) и проходovou (П). В элементе сравнения сравниваются массовые расходы этих фракций с их заданным соотношением. При возникновении на входе объекта возмущения, которое изменяет величину общего извлечения на величину $\pm \Delta U_i$, на выходе изменяется соотношение между проходовой и сходовой фракциями вибросепаратора на величину $\pm \Delta \frac{П}{С}$. Эта величина и является отклонением регулируе-

мой величины — рассогласованием. При рассогласовании в зависимости от величины и знака отклонения управляющее устройство, воздействуя на исполнительный механизм, изме-

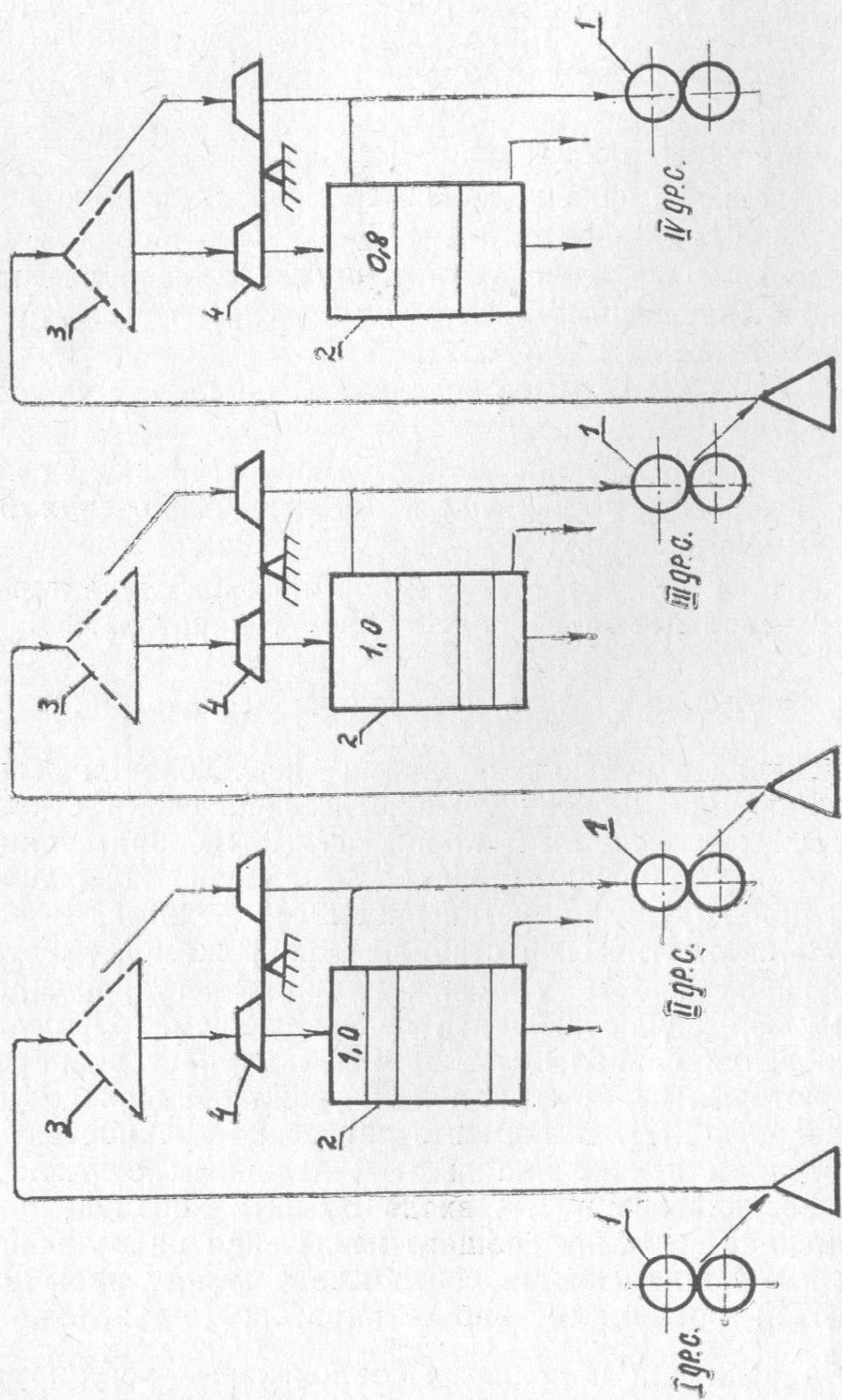


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема стабилизации режимов систем процесса крупнообразования: 1 — вальцовый станок; 2 — рассев; 3 — виброраспаратор; 4 — элемент сравнения.

няет межвальцовый зазор таким образом, чтобы величина общего извлечения оставалась соответствующей заданию.

Вибросепаратор в этой схеме выполняет двоякую роль: во-первых, он служит дисперсоанализатором продуктов измельчения, во-вторых, он заменяет функцию верхних сит отсева, благодаря чему сход может быть направлен на следующую по схеме систему, минуя просеивание в отсеивающей данной системы. Для получения указанной системы регулирования необходимо было осуществить разработку ряда устройств — вибросепаратора и элемента сравнения и провести их исследования.

Все исследования проводили в несколько этапов.

На первом этапе производили сбор производственной информации и непосредственные испытания на мельнице в режимах измельчения и нагрузках на первых трех драных системах и влажности зерна, поступающего на 1 драную систему, в течение одной смены (8 час) и одного месяца работы предприятия.

В качестве объекта исследования принята мельница Одесского комбината хлебопродуктов № 1 трехсортного 78%-ного помола пшеницы. Отбор образцов и их последующий анализ производили в соответствии со стандартной методикой. Статистической обработкой полученных результатов определены коэффициенты изменчивости и дисперсии исследуемых факторов.

На втором этапе производили лабораторные технологические исследования процесса крупобразования для обоснования параметра оптимизации этого процесса и определения алгоритма его управления.

Принятый параметр оптимизации для исследования любого технологического процесса должен характеризовать эффективность этого процесса с позиций конечной цели производства. По отношению к изучаемому процессу это означает, что режимы работы крупобразующих систем, рассчитанные по выбранному параметру, должны совпадать с режимами, соответствующими оптимальному на последней стадии производства.

Анализ различных параметров показал, что лучше других этому требованию отвечает средневзвешенная зольность продуктов извлечения с I—III драных систем (Z_0). Для убедительности этого предположения были проведены помолы методом активного эксперимента по технологической схеме, позволяющей получить муку 72%-ного выхода. Помолы производили по общепринятой методике при постоянном выходе продуктов извлечения с I—III драных систем ($U_0=70\%$). Другие факторы изменяли в следующих пределах: помольная партия — образцы пшеницы № 1 и № 2 (характеристика помольных партий приведена в табл. 1);

Т а б л и ц а 1

Физико-технологическая характеристика образцов зерна пшеницы

Показатели	Образец пшеницы		
	№ 1	№ 2	№ 3
Тип	IV	IV	I
Район произрастания	Од. обл.	Од. обл.	Юж.- Казах. обл.
Год урожая	1967	1968	1968
Стекловидность, %	58	51	40
Объемная масса, кг/м ³	828	805	817
Зольность зерна, %	1,63	1,54	1,59
Зольность эндосперма, %	0,40	0,39	0,43
Содержание сырой клейковины, %	20,0	23,0	26,6
Абсолютная масса, г	36,5	38,4	34,7
Содержание сорной примеси, %	0,35	0,20	0,24
Содержание зерновой примеси, %	1,12	0,92	1,43

взаимное расположение рифлей — «спинка по спинке» и «острие по острию»; режимы работы крупнообразующих систем изменяли в следующих пределах:

$$I \text{ драная} — U_I = (5 \div 18) \%;$$

$$II \text{ драная} — U_{II} = (40 \div 50) \%;$$

$$III \text{ драная} — U_{III} = [70 - (U_I + U_{II})] \%;$$

удельную нагрузку на крупнообразующие системы изменяли в пределах от +20 до —40% от значений, рекомендуемых «Правилами». Так как суммарное извлечение I—III драных систем (U_0) и общий выход муки (U_M) были застabilизированы, то тесноту связи между средневзвешенной зольностью муки общего выхода (Z_M) и средневзвешенной зольностью продуктов извлечения с I—III драных систем (Z_0) характеризовали коэффициентом корреляции r .

Предполагая наличие тесной связи между Z_M и Z_0 , последний показатель был принят в качестве основного при оценке качества работы крупнообразующих систем. Параллельно с Z_0 процесс крупнообразования исследовали по таким показателям, как: выход всех крупок, извлекаемых с I—III драных систем (U_K) и удельный расход энергии на измельчение 1 кг зерна.

Для разработки алгоритма управления процессом крупобразования были проведены исследования по установлению взаимосвязи между входными параметрами процесса и принятыми параметрами оптимизации. Применение специальных методов планирования экспериментов дает возможность решить эту задачу наилучшим образом.

На основании анализа литературных источников в качестве независимых факторов x_i , определяющих процесс крупобразования, выбраны:

- x_1 — величина общего извлечения на I драной системе (U_I) , %;
- x_2 — величина общего извлечения на II драной системе (U_{II}) , %;
- x_3 — суммарное извлечение с I—III драных систем (U_0) , %;
- x_4 — влажность зерна, поступающего на I драную систему (B) , %;
- x_5 — удельная нагрузка на вальцовую линию в % по отношению к номинальной, рекомендуемой «Правилами» (q) .

Подготовку зерна к помолу производили по схеме, обеспечивающей очистку зерновой массы до установленных «Правилами» кондиций.

В качестве сырья служила рядовая пшеница (образец пшеницы № 1), характеристика которой приведена в табл. 1.

Опытные помолы производили по технологической схеме, изображенной на рис. 2.

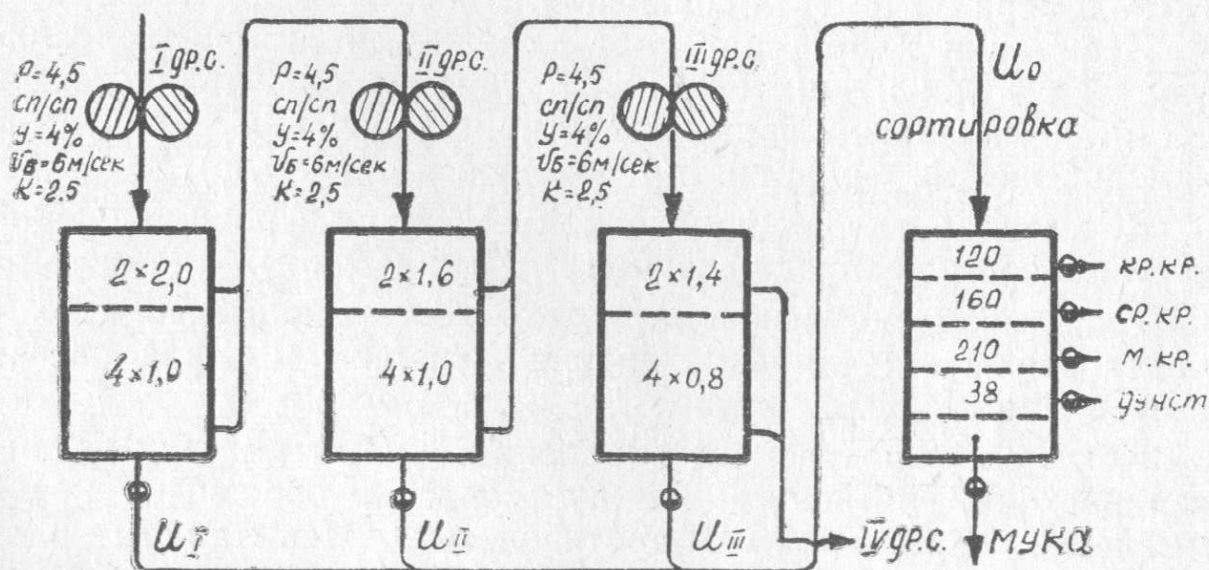


Рис. 2. Экспериментальная технологическая схема процесса крупобразования,


Уровни варьирования факторов и центр экспериментирования выбраны на основании «Правил» и приведены в табл. 2. Интервал варьирования λ_i берем из условия охвата

области колебания изучаемых факторов, рекомендуемых различными авторами.

Т а б л и ц а 2

Уровни и интервалы варьирования факторов при изучении процесса крупобразования

Кодовое обозначение факторов	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Основной уровень ($x_i=0$)	10	40	70	15,5	0
Интервал варьирования λ_i	5	10	5	0,5	20
Верхний уровень ($x_i=+1$)	15	50	75	16,0	+20
Нижний уровень ($x_i=-1$)	5	30	65	15,0	-20

При помолах производили энергетические замеры, определяли фактическую нагрузку на вальцовые станки и отбирали образцы для проведения количественно-качественных анализов в указанных на схемах точках (эти точки обозначены на рис. 2 знаком ).

Достоверность полученной модели процесса крупобразования проверяли на образце пшеницы № 3. С этой целью проводилась серия помолов по той же методике, что и для образца пшеницы № 1, при различных комбинациях режимов I, II, III драных систем.

На третьем этапе производили технологические испытания разработанных устройств: конического вибросепаратора, расходомера и элемента сравнения.

Испытания вибросепаратора сводились к определению геометрических и кинематических параметров, при которых достигается максимальный эффект разделения продуктов измельчения на фракции (проходовую и сходовую).

Качество разделения исходной смеси на фракции оценивали по формуле, предложенной В. Цециновским.

Теоретически обоснована возможность применения элемента сравнения для определения величины и знака рассогласования.

Конструктивно элемент сравнения состоит из двух датчиков расхода, связанных между собой Т-образным коромыслом с маятниковым противовесом. Испытаниям элемента сравнения предшествовали исследования разработанного расходомера, принцип действия которого основан на прямой зависимости расхода от силы давления свободно падающего потока продукта при ударе его о преграду, являющуюся чувствительным элементом датчика. Погрешность расходомера и элемента сравнения определяли по методике, предложенной Н. Луткиным.

На четвертом этапе для установления взаимосвязи между входными и выходными параметрами процесса крупобразования, а также для определения временных характеристик, необходимых для построения системы автоматического регулирования режимов крупобразующих систем, изучали статические и динамические свойства объекта «вальцовый станок — вибросепаратор».

Основными входными параметрами на основании анализа объекта приняты:

- величина общего извлечения на i -ой системе (U_i); которая находится в зависимости от величины межвальцового зазора;
- удельная нагрузка на i -ой системе (q_i);
- влажность зерна, поступающего на I драную систему (B);
- помольная партия: образцы пшеницы № 1 и № 3.

Выходным параметром принят выход проходовой фракции вибросепаратора.

Снятие динамических характеристик производили по стандартной методике с применением шлейфового осциллографа.

Результаты исследования эффективности процесса крупобразования

Статистический анализ работы действующего предприятия показал, что распределение таких технологических параметров, как влажность зерна, поступающего на I драную систему (B), величина общего извлечения по системам (U_i) и удельные нагрузки на вальцовые станки (q_i), полученные за сравнительно короткий промежуток времени (одна смена) и более продолжительный промежуток времени (один месяц работы предприятия при переработке примерно одинаковой помольной партии зерна), подчиняются нормальному закону.

Предельные отклонения величины общего извлечения на I—III драных системах и удельных нагрузок на II—III драных системах, наблюдаемые за сравнительно большой промежуток времени, значительно превышают подобные отклонения, но взятые за сравнительно короткий промежуток времени. По величине общего извлечения это можно объяснить отсутствием средств оперативного контроля при налаживании процесса; по удельным нагрузкам — изменением влажности зерна и режимов работы предыдущих систем.

Именно по этим причинам предельные отклонения факторов U_i и q_i , полученные за сравнительно большой промежуток времени, не отвечают предъявляемым к изучаемому процессу требованиям.

Наибольшие колебания величины общего извлечения наблюдаются на III драной системе, с помощью которой обслуживающий персонал «оперативно» регулирует выход и качество муки общего выхода.

Результаты лабораторных помолов по установлению связи между зольностью муки общего выхода (Z_m) и средне-взвешенной зольностью продуктов извлечения с I—III дра-ных систем (Z_0) подтвердили гипотезу о тесной связи между этими параметрами. Связь этих параметров аппроксимируется линейным корреляционным уравнением типа:

$$Z_m = a \cdot Z_0 + b, \quad (1)$$

где a и b —постоянные коэффициенты, значения которых в зависимости от помольной партии и взаимного расположения рифлей приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Статистический анализ результатов помола зерна

Взаимное расположение рифлей	Коэффициенты	Образцы зерна пшеницы	
		№ 1	№ 2
«Острие по острию»	r	0,83	0,85
	a	0,37	0,87
	b	0,29	—0,11
«Спинка по спинке»	r	0,92	0,90
	a	0,67	1,00
	b	0,07	—0,09

Из табл. 3 видно, что коэффициент корреляции при взаимном расположении рифлей «спинка по спинке» больше, чем при расположении рифлей «острие по острию». Это объясняется тем, что в первом случае в процессе крупобразования получается относительно больше муки и дунстов, зольность которых не зависит от качества работы систем обогащения, в то время как во втором случае образуется относительно больше крупок, качество муки из которых во многом зависит от качества работы систем обогащения. Изменение режимов работы систем обогащения дополнительно увеличивает дисперсию зольности муки и тем самым снижает тесноту связи Z_m с Z_0 .

Качество муки общего выхода при расположении рифлей «спинка по спинке» лучше, чем при расположении «острие по острию».

Таким образом, установлено, что при постоянном общем выходе муки между ее зольностью (Z_M) и средневзвешенной зольностью продуктов первого качества (Z_0) существует тесная корреляционная линейная зависимость. Следовательно, при постоянной величине суммарного извлечения с первых трех драных систем Z_0 может служить параметром оптимизации процесса крупобразования.

В условиях, когда U_M и U_0 может принимать произвольные, но фиксируемые значения, параметры оптимизации Z_M и Z_0 для изучения процесса крупобразования не подходят. В этом случае приходится изучать процесс с двумя конкурирующими параметрами оптимизации — Z_0 и U_0 .

Рядом работ для этой цели рекомендуется применять энтропию разделения (\mathcal{E}), которую для крупобразующих систем можно представить в виде

$$\mathcal{E} = 0,01 \cdot U_0 \cdot V_1 + (1 - 0,01 \cdot U_0) \cdot V_2 - V_0, \quad (2)$$

где $V_i = (2z_i - 1) \ln \frac{z_i}{1 - z_i}$ — разделительный потенциал,

z_i ($i = 1, 2, 0$) — содержание эндосперма соответственно в обогащенной и обедненной фракциях и в целом зерне.

Здесь энтропия разделения характеризует степень упорядоченности разделения исходной смеси на обогащенную (извлекаемая фракция обогащается эндоспермом) и обедненную (сходовая фракция обедняется эндоспермом) фракции.

Из уравнения материального баланса определены значения z_i , необходимые для определения V_i :

$$z_0 = \frac{Z_{об} - Z_3}{Z_{об} - Z_{эн}}; \quad z_1 = \frac{Z_{об} - Z_0}{Z_{об} - Z_{эн}}; \quad (3)$$

$$z_2 = \frac{Z_3 - 0,01 \cdot U_0 - (1 - 0,01 \cdot U_0) \cdot Z_{эн}}{(1 - 0,01 \cdot U_0)(Z_{об} - Z_{эн})},$$

где $Z_{эн}$, $Z_{об}$ и Z_3 — зольности эндосперма, оболочки и целого зерна.

Для составления матрицы планирования переходим от натуральных переменных U_I, U_{II}, U_0, B, q к кодированным x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 .

Для получения линейной математической модели процесса крупобразования реализована полуреплика от полного факторного эксперимента типа 2^5 , с определяющим контрастом $I = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5$ и генерирующим соотношением $x_5 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$.

В табл. 4 приведена матрица планирования и результаты реализации опытов. Каждый результат — есть среднее из трех параллельных определений, рандомизированных во времени.

Матрица планирования экспериментов при изучении
процесса крупобразования (1 серия опытов)
(образец пшеницы № 1)

Обозначение фактора	U_I	U_{II}	U_0	B	q	Z_0	\bar{Z}_0	U_K	\bar{U}_K	W	\bar{W}	
Единица измерен.	%	%	%	%	%	%	%	%	%	$\frac{\text{кДЖ}}{\text{кг}}$	$\frac{\text{кДЖ}}{\text{кг}}$	
Основной уровень	10	40	70	15,5	0	—	—	—	—	—	—	
Шаг варьирован.	5	10	5	0,5	20	—	—	—	—	—	—	
Верхн. уровень	15	50	75	16,0	+20	—	—	—	—	—	—	
Нижний уровень	5	30	65	15,0	-20	—	—	—	—	—	—	
Кодовое обозначен. перемен.	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	\bar{y}_1	y_2	\bar{y}_2	y_3	\bar{y}_3	
Порядок реализации опытов	1	+	—	—	+	+	0,66	0,70	42,2	39,3	8,0	8,4
	2	—	+	+	+	—	0,72	0,75	41,0	38,2	8,7	8,6
	3	+	+	—	—	+	0,82	0,78	39,9	39,9	8,1	7,5
	4	—	+	—	+	+	0,66	0,67	36,8	34,4	8,6	8,6
	5	+	+	+	+	+	0,80	0,82	40,6	41,0	8,7	8,8
	6	—	—	+	+	+	0,83	0,81	37,8	40,4	10,0	9,7
	7	+	+	—	+	—	0,69	0,63	36,7	37,3	7,3	7,2
	8	+	—	+	+	—	0,78	0,78	41,3	43,2	8,7	8,4
	9	—	—	—	+	—	0,62	0,63	34,9	36,7	8,0	8,1
	10	—	—	—	—	+	0,77	0,77	37,4	39,4	8,6	8,4
	11	—	+	+	—	+	0,88	0,89	43,0	41,0	8,5	8,9
	12	+	—	—	—	—	0,71	0,74	44,9	42,2	6,9	7,0
	13	+	—	+	—	+	0,93	0,92	43,8	45,8	8,5	8,5
	14	+	+	+	—	—	0,84	0,86	43,5	43,8	7,5	7,5
	15	—	—	+	—	—	0,89	0,85	40,7	44,2	8,4	8,4
	16	—	+	—	—	—	0,70	0,72	39,8	36,3	7,3	7,3

В табл. 5 приведены коэффициенты регрессии для всех параметров оптимизации. Статистический анализ полученных результатов показал, что при ошибке экспериментов для соответствующих параметров оптимизации, равной: $\sigma_{y_1} = 0,013$, $\sigma_{y_2} = 1,08$, $\sigma_{y_3} = 0,28$, доверительная оценка коэффициентов регрессии составляет: $t \cdot \sigma_{b_i} \{ y_1 \} = 0,0070$; $t \cdot \sigma_{b_i} \{ y_2 \} = 0,565$; $t \cdot \sigma_{b_i} \{ y_3 \} = 0,16$.

Т а б л и ц а 5

Коэффициенты регрессии уравнения первого порядка

Параметры оптимизации	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
$y_1 (Z_0)$	0,769	+0,010	-0,005	+0,065	-0,048	+0,025
$y_2 (U_k)$	40,2	+1,35	-1,06	+1,90	-1,36	-0,08
$y_3 (W)$	8,25	-0,28	-0,13	+0,39	+0,28	+0,38

Доказана по критерию Кохрена воспроизводимость опытов и по критерию Стьюдента значимость коэффициентов линейного уравнения регрессии, кроме коэффициента b_2 . Последующий анализ показал, что незначимость коэффициента b_2 объясняется тем, что основной уровень фактора x_2 близок к оптимальному.

По критерию Фишера произведена проверка гипотезы об адекватности представления результатов уравнениями первого порядка, которая для параметров оптимизации Z_0 и U_k отвергается. Поэтому решено перейти к уравнениям связи второго порядка.

Из сравнения коэффициентов регрессии для параметра оптимизации Z_0 видно, что большое влияние в процессе крупнообразования оказывают такие факторы, как влажность зерна, поступающего на I драную систему, и удельные нагрузки на вальцовые станки. Направление влияния этих факторов, определяемое знаком коэффициента регрессии, совпадает с известными представлениями об этом объекте. Так, знак (-) при коэффициенте b_4 и знак (+) при коэффициенте b_5 для параметра оптимизации Z_0 свидетельствуют о положительном влиянии роста B и отрицательном влиянии q .

Доказана целесообразность стабилизации факторов B и q на уровнях +1 и -1 соответственно.

Для получения модели второго порядка была реализована схема рототабельного центрального композиционного планирования, состоящая из полного факторного эксперимента типа 2^3 и шести звездных точек с плечом $\pm 1,68$.

Матрица планирования и результаты опытов представлены в табл. 6.

Т а б л и ц а 6

Матрица планирования экспериментов при изучении
процесса крупобразования (2 серия опытов)
(образец пшеницы № 1)

Обозначение факторов	U_I	U_{II}	U_0	Z_0	\bar{Z}_0	U_K	\bar{U}_K	W	\bar{W}	
Основной уровень	10	40	70	—	—	—	—	—	—	
Шаг варьирования	5	10	5	—	—	—	—	—	—	
Кодовое обозначен. перемен.	x_1	x_2	x_3	y_1	\bar{y}_1	y_2	\bar{y}_2	y_3	\bar{y}_3	
Номер опыта	1	+	+	+	0,75	0,75	40,5	41,1	8,4	8,3
	2	+	+	—	0,69	0,68	36,7	38,7	7,3	7,0
	3	+	—	+	0,78	0,76	41,3	41,5	8,7	8,6
	4	+	—	—	0,61	0,60	42,7	42,5	7,3	7,4
	5	—	+	+	0,72	0,72	41,0	42,1	8,7	8,8
	6	—	+	—	0,61	0,61	37,0	37,6	7,9	7,7
	7	—	—	+	0,78	0,78	38,2	37,1	9,2	9,2
	8	—	—	—	0,62	0,62	34,9	35,5	8,0	7,9
	9	+1,68	0	0	0,67	0,67	44,7	43,5	6,8	6,9
	10	-1,68	0	0	0,66	0,65	39,4	38,7	7,7	7,7
	11	0	+1,68	0	0,70	0,68	41,5	38,7	8,1	8,1
	12	0	-1,68	0	0,65	0,66	37,8	38,1	8,5	8,5
	13	0	0	+1,68	0,86	0,85	40,7	40,7	9,3	9,4
	14	0	0	-1,68	0,63	0,63	39,3	39,2	7,0	7,3
	15	0	0	0	0,65	0,65	41,6	43,5	6,4	6,4
	16	0	0	0	0,63	0,65	42,7	43,5	6,6	6,4
	17	0	0	0	0,66	0,65	44,5	43,5	6,2	6,4
	18	0	0	0	0,66	0,65	42,9	43,5	6,1	6,4
	19	0	0	0	0,65	0,65	44,5	43,5	6,8	6,4
	20	0	0	0	0,65	0,65	44,0	43,5	6,5	6,4

В результате получены следующие уравнения регрессии:

$$y_1 = 0,65 + 0,0084 \cdot x_1 + 0,0048 \cdot x_2 + 0,0630 \cdot x_3 + 0,0150 \cdot x_1 \cdot x_2 - \\ - 0,0050 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,0200 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0038 \cdot x_1^2 + 0,0076 \cdot x_2^2 + \\ + 0,0314 \cdot x_3^2, \quad (4)$$

$$y_2 = 43,5 + 1,37 \cdot x_1 + 0,34 \cdot x_2 + 0,89 \cdot x_3 - 1,41 \cdot x_1 \cdot x_2 - \\ - 0,61 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,74 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,83 \cdot x_1^2 - 1,71 \cdot x_2^2 - 1,52 \cdot x_3^2, \quad (5)$$

$$y_3 = 6,4 - 0,28 \cdot x_1 - 0,11 \cdot x_2 + 0,61 \cdot x_3 + 0,03 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,03 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\ - 0,05 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,33 \cdot x_1^2 + 0,68 \cdot x_2^2 + 0,69 \cdot x_3^2. \quad (6)$$

Исследования уравнения регрессии с помощью F -критерия показало, что это приближение является достаточным.

Для отыскания координат экстремума в заданной области факторного пространства, ограниченного координатами $x_i = \pm 1,68$, использован метод перебора всех комбинаций факторов с применением вычислительной машины, квантуя их некоторым произвольным способом. Полученные значения координат оптимума для дискретных значений фактора U_0 в зависимости от параметра оптимизации y_i представлены в табл. 7. Данные этой таблицы и являются алгоритмом управления режимами крупнообразующих систем. По данным этой же таблицы построены зависимости параметров оптимизации Z_0 , U_k , W и \mathcal{E} от суммарного извлечения с первых трех драных систем (рис. 3), из которых видно, что для данной помольной партии зерна U_0 необходимо стабилизировать на уровне 67,5%—70,0%.

Для получения координат компромиссного оптимума строим контурные кривые равного выхода для каждого параметра оптимизации при дискретных значениях U_0 (в пределах 62,5÷77,5%).

На рис. 4 представлены статические характеристики процесса крупнообразования при $U_0 = 67,5\%$ и $70,0\%$, из которых видно, что координаты оптимума для каждого в отдельности параметра не совпадают. Результаты графического определения координат компромиссного оптимума представлены в табл. 8. Анализ данных этой таблицы показывает, что для оптимального управления процессом крупнообразования суммарную величину продуктов извлечения с I—III драных систем целесообразно изменять (в зависимости от количественно-качественных показателей муки общего выхода) за счет изменения режимов работы всех крупнообразующих систем.

Таблица 7

Координаты оптимума для дискретных значений фактора U_0 в зависимости от y_i

U_0	Общее извлечение по системам зависимости от y_i									Значение y_i при оптимальных значениях U_i			
	U_I			U_{II}			U_{III}			$y_1 (Z_0)$	$y_2 (U_k)$	$y_3 (M)$	
	$y_1 (Z_0)$	$y_2 (U_k)$	$y_3 (M)$	$y_1 (Z_0)$	$y_2 (U_k)$	$y_3 (M)$	$y_1 (Z_0)$	$y_2 (U_k)$	$y_3 (M)$	$y_1 (Z_0)$	$y_2 (U_k)$	$y_3 (M)$	
62,5	10—20	22,0	12,5	23—35	27,9	40,3	17—20	12,6	9,7	0,58	41,7	7,0	1,12
65,0	7—16	19,9	12,4	25—40	30,7	40,4	22—24	14,4	12,2	0,58	43,1	6,4	1,18
67,5	6—9	17,8	12,3	35—42	33,5	40,6	20—23	16,2	14,6	0,61	44,0	6,2	1,19
70,0	5—6	16,0	12,2	42—47	36,2	40,7	18—22	17,8	17,1	0,64	44,2	6,4	1,18
72,5	5	13,5	12,1	50—52	39,1	40,8	20—22	19,9	19,6	0,67	44,0	6,9	1,14
75,0	5	11,5	12,0	55,0	41,9	41,0	15	21,6	22,0	0,72	43,1	7,6	1,08
77,5	5	9,3	11,9	55,0	44,8	41,1	17,5	23,4	24,5	0,77	41,7	9,4	1,02

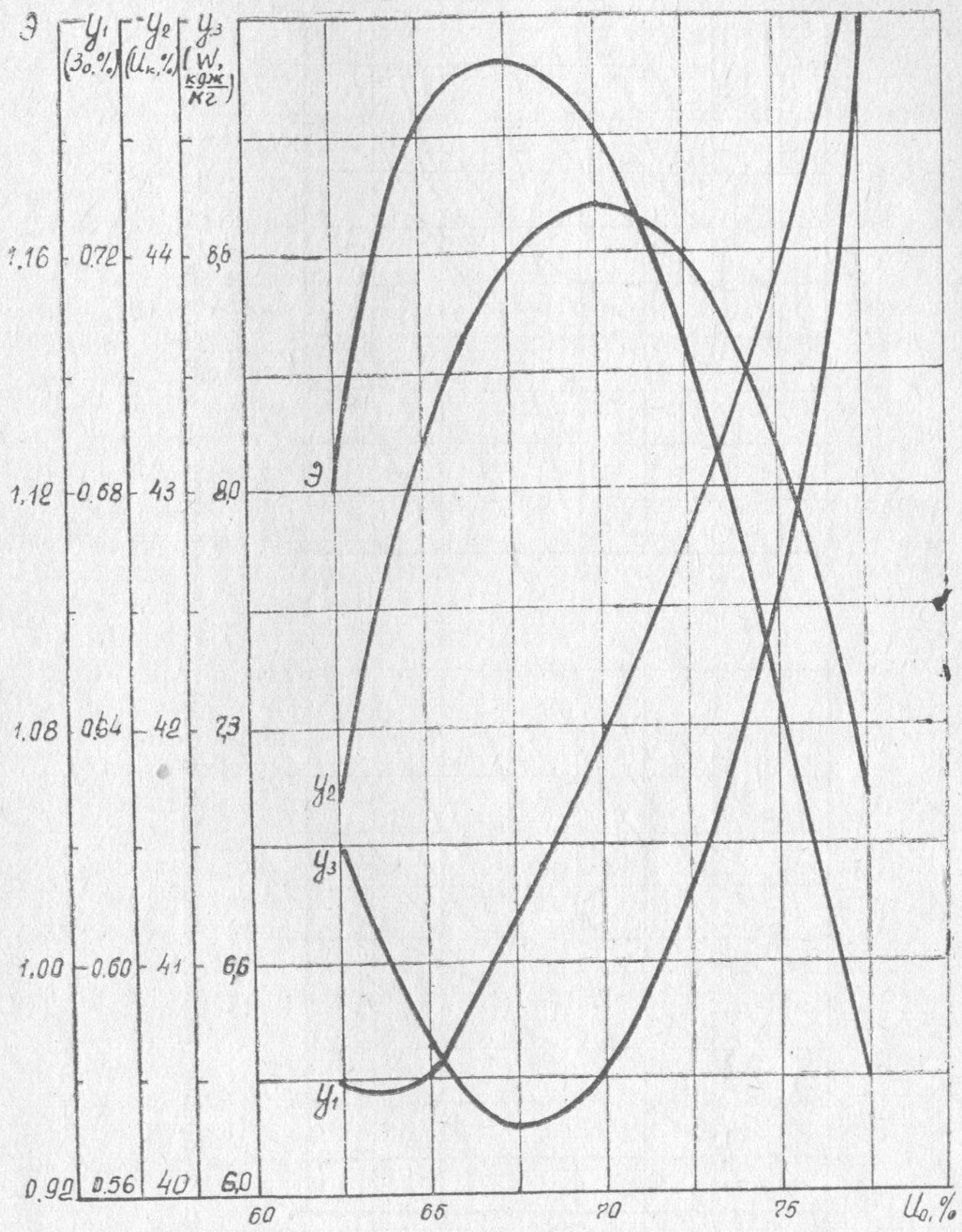


Рис. 3. Зависимость параметров оптимизации y_1, y_2, y_3 и энтропии разделения (\mathcal{E}) от U_0 .

Результатами исследования разработанного **расходомера** установлено, что при полой цилиндрической структуре потока, которая создается при помощи распределительных колец и диска, точность измерения расхода повышается. Для этой структуры потока и обоснованы основные параметры **элемента сравнения**. Преграда элемента сравнения представляет собой усеченный полой конус с углом наклона образующей к горизонту, равным 45° , длиной образующей, равной 0,02 м (при $Q = 10$ т/час). Такая форма преграды в сравнении с другими (шарообразной, конической) снижает влияние циркулирующего в самотеке воздушного потока на точность измерения расхода.

Приводится расчет цены деления шкалы элемента сравнения и массы задающего груза, которые позволяют обеспечить точность установки задания на общее извлечение для I драной системы равную 0,1%, для II и III драных систем — 0,2% извлечения. Так как работа элемента сравнения связана с работой вибросепаратора, то и точность их работы определяли в совокупности. При номинальной величине общего извлечения на i -ой системе (по отношению к нагрузке на данную систему) абсолютная погрешность составляет $\pm 0,17$; $\pm 0,6$; $\pm 1,0\%$ соответственно на I, II и III драных системах.

Зависимость выхода проходовой фракции (Π) от величины общего извлечения на i -ой системе (U_i), нагрузки (Q) и влажности зерна, поступающего на I драную систему (B), может быть аппроксимирована линейным уравнением регрессии с коэффициентом множественной корреляции, близким к единице:

$$\Pi = a_1 + a_2 \cdot U_i (a_3 - Q) - a_4 \cdot U_i (B - a_5), \quad (7)$$

где a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 — постоянные коэффициенты, которые зависят от кинематических и геометрических параметров вибросепаратора и количественно-качественных показателей измельчаемых продуктов.

Пренебрегая колебаниями нагрузки и влажности (которые наблюдаются в производственных условиях на крупнообразующих системах мельницы) вследствие незначительности их влияния, суммарная статическая характеристика объекта «вальцовый станок — вибросепаратор» с применением элемента сравнения упрощается:

$$V = c - \kappa \cdot U_i, \quad (8)$$

где V — напряжение на выходе с индукционной катушки элемента сравнения, мВ;

$$c = 2 \cdot \kappa_1 \cdot Q (50 \cdot l_2 - a_1 \cdot l);$$

$$\kappa = 2 \cdot \kappa_1 \cdot Q (a_2 \cdot Q + a_4 \cdot B - a_2 \cdot a_3 - a_4 \cdot a_5);$$

l — расстояние между центрами чувствительных элементов, м;

l_2 — длина плеча от оси качения физического маятника до центра преграды, м.

Из формулы (8) видно, что выходное напряжение элемента сравнения находится в линейной зависимости от величины общего извлечения на i -ой системе.

Так как в ходе изучения статических свойств объекта оказалось, что влиянием таких факторов, как влажность и физико-технологические свойства зерна, можно пренебречь, то динамику процесса изучали в зависимости от изменения межвальцового зазора. При исследовании установлено, что объект автоматизации «вальцовый станок — вибросепаратор» обладает значительным транспортным запаздыванием и может быть описан дифференциальным уравнением первого порядка.

Характерной особенностью объекта автоматизации «вальцовый станок — вибросепаратор» является скоротечность переходных процессов ($T=2$ сек). Динамические свойства объекта характеризуются величиной отношения общего запаздывания к постоянной времени объекта, примерно равным трем. Учитывая незначительную абсолютную величину общего запаздывания, представилось возможным выбрать пропорционально-интегральный (ПИ) закон регулирования, и как показали последующие испытания системы, обеспечивающий необходимое качество регулирования. Для реализации ПИ-закона регулирования выбран регулятор типа РП I-ПД.

Для стабилизации режима работы отдельной системы этапа крупнообразования была построена система регулирования, моделирование которой было осуществлено на аналоговой машине типа МН—7М. При этом модель объекта управления, набранная на машине, сопрягалась с реальным автоматическим регулятором непрерывного действия РП-I с импульсным выходом регулирующего блока типа ПД и постоянной скоростью исполнительного механизма типа ИМ—2/120. Корректировкой параметров регулятора добились соответствия переходного процесса требуемому, требования к которому сформулированы на основе анализа свойств объекта и условий ведения технологического процесса на мельнице сортового помола:

— отклонение от задания в установившемся режиме не должно превышать на I драной системе $\pm 0,5\%$, на II драной — $\pm 1,0\%$, на III драной — $\pm 1,5\%$ извлечения (по отношению к нагрузке на данную систему);

— время регулирования 250—300 сек.

Система автоматического регулирования, реализованная на регуляторе РП-I, была испытана на реальном объекте.

Испытания показали, что точность отработки заданного значения не превышает для I, II и III драных систем в установленном режиме 0,5%, 0,8%, 1,3% соответственно.

Время регулирования системы (при $\tau=6$ сек) составляет 46, 50, 53 сек соответственно для I, II, III драных систем.

Следовательно, разработанная система автоматической стабилизации крупнообразующих систем отвечает всем предъявляемым к ней требованиям.

Общие выводы и рекомендации

1. Исследованиями технологического процесса мельницы сортового помола пшеницы в производственных условиях установлено, что средние квадратические отклонения величины общего извлечения (по отношению к нагрузке на I драную систему), наблюдаемые в течение одного месяца работы предприятия при переработке примерно одинаковой помольной партии, составляют: 2,0; 2,6 и 5,3% соответственно на I, II и III драных системах. Это приводит к значительным колебаниям количественно-качественных показателей муки общего выхода и поэтому возникает необходимость стабилизации режимов систем процесса крупнообразования, как основного этапа общего технологического процесса.

2. Экспериментально установлено, что средневзвешенная зольность продуктов извлечения с I—III драных систем при постоянном суммарном извлечении может служить параметром оптимизации процесса крупнообразования. Теоретически обоснована и экспериментально проверена возможность использования энтропии разделения для оптимизации процесса крупнообразования при изменении суммарного извлечения.

3. Применение метода многофакторного планирования экспериментов для изучения процесса крупнообразования позволило получить математическое описание процесса крупнообразования от трех параметров оптимизации: средневзвешенной зольности продуктов извлечения с I—III драных систем, суммарного выхода крупок с этих же систем и удельного расхода энергии на измельчение 1 кг зерна, на основании которого определены координаты оптимума для каждого параметра оптимизации в отдельности и координаты компромиссного оптимума.

Проверка полученной модели процесса на различных помольных партиях, а также проверка сходимости результатов исследований, проведенных различными авторами с прогнозом математической модели, свидетельствуют об адекватности описания процесса крупнообразования уравнениями второго порядка.

4. Разработан и испытан конический вибросепаратор, способный разделить продукты измельчения зерна в потоке на две фракции — сход и проход, количественное соотношение которых служит выходным сигналом о величине извлечения. При этом сходовая фракция вибросепаратора по качеству может быть направлена на следующую по схеме измельчающую машину, минуя просеивание в расसेве данной системы.

Установлено, что между величиной общего извлечения на I—III драных системах и выходом проходовой фракции вибросепаратора существует тесная линейная корреляционная зависимость.

5. Разработан, испытан и защищен авторским свидетельством расходомер для сыпучих продуктов, на базе которого разработан элемент сравнения, позволяющий в потоке определять величину и знак отклонения фактической величины извлечения от заданной.

6. Динамические свойства объекта автоматизации удовлетворительно описываются уравнениями первого порядка с запаздыванием.

7. Испытания системы автоматической стабилизации крупнообразующих систем показали, что эта система удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям по качеству регулирования.

8. Экономический эффект предлагаемых мероприятий в результате повышения стабильности всего технологического процесса для мельницы трехсортного помола производительностью 240 т/сутки составит 38,6 тыс. рублей в год.

По материалам диссертации опубликованы в соавторстве следующие работы:

1. Определение дисперсности продуктов размола зерна в потоке. Материалы Всесоюзной межвузовской научной конференции по процессам в дисперсных сквозных потоках, Одесса, 1967.

2. Об удельных нагрузках на вальцовые станки. «Мукомольно-элеваторная промышленность», № 8, 1969.

3. Разработка и исследование расходомера для зерна и продуктов его размола. Сб. ЦНИИТЭИ «Хранение и переработка зерна», № 1, 1971.

4. О зависимости между зольностью муки и средневзвешенной зольностью продуктов извлечения. Известия вузов, «Пищевая промышленность», № 4, 1971.

5. Исследование и разработка устройств для автоматизации процесса измельчения на крупнообразующих системах мельниц. Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в вузах УССР. «Пищевая промышленность». Киев, вып. 5, 1971.

6. Определение условий вибросепарирования продуктов измельчения зерна экспериментально-статистическим методом. Сб. ЦНИИТЭИ «Хранение и переработка зерна», № 5, 1971.

7. Датчик для сравнения расходов продуктов размола зерна и определение его статической характеристики. ЦНИИТЭИ Легпищемаш. Реф. сб. «Машиностроение для пищевой промышленности», 1971, вып. 7, стр. 3.

8. Расходомер для сыпучих материалов. Авторское свидетельство № 282779. «Бюллетень изобретений», № 30, 1970.

9. Устройство для разделения потока сыпучего материала на две части в заданном соотношении. Авторское свидетельство № 283891. «Бюллетень изобретений», № 31, 1970.

Основные результаты исследований доложены:

1. На секции автоматизации координационного Совета Министерства Заготовок СССР, 1966 и 1970 гг.

2. На первой Всесоюзной межвузовской конференции по процессам в дисперсных сквозных потоках. 1967 г.

3. На научно-технических конференциях Одесского технологического института пищевой промышленности имени М. В. Ломоносова в 1967, 1969 и 1970 гг.

4. На научно-техническом Совете Министерства Заготовок РСФСР, 1970 г.

Подписано к печати 6.IV.1972 г. Формат бумаги 60×90/16.
1,75 печ. л. 1,575 уч.-изд. л. БР 03113. Заказ № 3007. Тираж 200.

Городская типография управления по печати Одесского облисполкома,
цех № 5, ул. Ленина, № 49.