

Автор ер.
Л 64

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ имени М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Аспирант ЛИЩИНСКИЙ Бронислав Федорович

**МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИИ ДРОБЛЕНИЯ
СОЛОДА В СВЯЗИ С КОНСТРУИРОВАНИЕМ
ВАЛЬЦОВЫХ СОЛОДОДРОБИЛОК**

Специальность 05.02.14 — машины и агрегаты пищевой
промышленности

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса — 1975 год

Автореферат
Л67

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
У С С Р

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Переучет 1907/1
Аспирант ЛИЩИНСКИЙ БРОНИСЛАВ ФЕДОРОВИЧ

МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИИ
ДРОБЛЕНИЯ СОЛОДА В СВЯЗИ С КОНСТРУИРОВАНИЕМ
ВАЛЬЦОВЫХ СОЛОДОДРОБИЛОК

Специальность 05.02.14 - Машины и агрегаты пищевой
промышленности

v012480

Одесский технологический институт пищевой промышленности
БИБЛИОТЕКА

Автореферат
диссертации на соискание
ученой степени кандидата
технических наук

Одесса - 1975 год

ОНАХТ 02.07.12
Механико-технологиче

v012480

Работа выполнена на кафедре "Технологическое оборудование зерновых производств и охрана труда" Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова и в лаборатории Винницкого пивоваренного завода.

Научный руководитель

кандидат технических наук, доцент Г.Д.ГАЛЬПЕРИН.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Н.А.БУРЕНКОВ /г.Киев/,

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

И.Г.ЛЕРНЕР /г.Москва/.

Ведущее предприятие - Горьковское отделение Всесоюзного научно-исследовательского и проектно-конструкторского института продовольственного машиностроения.

Автореферат разослан "7" сентября 1975 года.

Защита диссертации состоится "21" марта 1975 года на заседании Ученого Совета механического и инженерно-экономического факультетов Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью, просим прислать по адресу: 270039, г.Одесса, ул.Свердлова,112, Технологический институт пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова, Ученому секретарю Совета института.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА ИНСТИТУТА

кандидат технических наук

/Л.А.ЗАПОРОЖЕЦ/

Большие задачи поставлены XXIV съездом КПСС перед пищевой промышленностью нашей страны, на развитие которой в девятой пятилетке выделено 14,0 млрд. рублей. Кроме строительства новых и реконструкции действующих предприятий, большое внимание обращается на повышение эффективности производства, на экономию сырья, уменьшение отходов.

Дальнейшее развитие получит и пивоваренная отрасль, намечено в 1971-1975 гг построить около 100 пивоваренных заводов, более 40 заводов и цехов по производству солода и реконструировать более 50 % действующих предприятий. Это позволит увеличить мощность пивоваренных заводов в два раза с тем, чтобы объем производства пива довести до 650-700 млн. дкл. в год, солода - до 960-1100 тыс. тонн в год.

Наряду с этим стоят неотложные задачи дальнейшего совершенствования технологии пивоваренного производства на базе всемерного использования технологических ресурсов солода, интенсивного использования производственно-технических возможностей действующего технологического оборудования, его модернизации.

Наиболее трудным, малоуправляемым и продолжительным, определяющим длительность общего цикла приготовления сусла, является процесс фильтрации затора. В связи с этим производительность варочного цеха лимитируется длительностью процесса фильтрации и оборачиваемостью фильтрационного чана. Выход, качество пива и длительность процесса фильтрации при прочих равных условиях зависят от состава продуктов дробления солода /состава помола/, однако в литературных источниках нет сведений о проведении комплексных экспериментальных исследований операции дробления солода вальцами, поэтому технологические, геометрические и кинематичес-

кие параметры операции дробления солода вальцами в промышленности не имеют научно-экспериментального обоснования.

В последние годы в нашей стране и за рубежом находит широкое применение способ предварительного увлажнения солода перед дроблением, который позволяет сократить продолжительность фильтрации затора и повысить производительность варочных агрегатов примерно на 20 - 25 %.

В связи с этим возникает необходимость проведения комплексного исследования операции дробления солода вальцами для установления зависимости состава продуктов дробления от технологических, геометрических и кинематических параметров вальцов, обеспечивающих получение требуемого по технологии производства пива состава помола. Для расчёта, конструирования и модернизации солододробилок необходимо также определить характер и величины силового нагружения вальцов.

Реферируемая работа содержит 151 стр. машинописного текста, в т.ч. 47 рисунков, 23 таблицы и состоит из четырех глав, общих выводов и рекомендаций, списка использованной литературы и приложений.

Во введении обосновывается актуальность, научная и производственная значимость предпринятого исследования.

В первой главе приведен краткий обзор научно-исследовательских работ по измельчению зерна и зернопродуктов вальцами; представлена характеристика солода как исходного сырья; указано направление технического прогресса при дроблении солода и рекомендуемый состав продуктов при переработке сухого солода; рассмотрены функциональные схемы и рабочие органы вальцовых солододробилок.

Во второй главе обоснована целесообразная область исследо-

вания; сформулированы цель и задачи, а также представлена программа исследования; описана экспериментальная вальцовая солододробилка; изложены принятые методики получения изучаемых параметров, обработки и оценки точности результатов опытов, анализа и обобщения опытных данных.

В третьей главе приведены результаты экспериментального исследования зависимости состава продуктов и энергосиловых показателей при дроблении сухого и предварительно увлажненного солода от технологических параметров операции, геометрических и кинематических параметров вальцов; приведен анализ полученных эмпирических уравнений и обсуждены результаты.

В четвертой главе изложено конструктивное решение установки ВНИИПБП для предварительного увлажнения солода перед дроблением; приведены результаты фильтрации затора при дроблении увлажненного солода на однопозиционной солододробилке при геометрических и кинематических параметрах вальцов, изысканных в работе.

Научная и производственно-техническая значимость и новизна работы состоит в том, что впервые выполнено комплексное исследование зависимости состава продуктов дробления солода и энергосиловых показателей операции дробления от технологических, геометрических и кинематических параметров вальцов. Полученные эмпирические уравнения можно использовать для:

- расчёта параметров операции и вальцов в зависимости от заданного состава помола;
- расчёта, конструирования и модернизации солододробилок;
- регулирования состава помола солода изменением параметров операции и вальцов.

ГЛАВА I. ОПЕРАЦИЯ ДРОБЛЕНИЯ СОЛОДА И ЗЕРНОПРОДУКТОВ ВАЛЬЦОВЫМИ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯМИ

В литературе нет сведений об исследованиях операции измельчения солода вальцовыми измельчителями. В области измельчения других зернопродуктов известны работы: А.Е.Баума, В.Я.Белецкого, В.В.Вашкевича, Б.М.Горбунова, Г.Д.Гальперина, А.Г.Демидова, И.Г.Дундука, К.А.Ильвицкого, Н.Я.Кестельмана, П.Л.Козьмина, Е.П.Козьминой, Л.И.Котляра, Г.И.Креймермана, И.Т.Мерко, М.Я.Муриана, И.А.Наумова, Н.В.Остапчука, А.В.Панченко, Н.К.Ройбула, М.Я.Симоновича, В.А.Скрябина, П.П.Таругина, А.Ф.Тимукаса, Г.Г.Цыбульского, С.Д.Хусида и др., посвященные отдельным теоретическим и экспериментальным исследованиям.

Рабочими органами вальцовых машин являются пара цилиндрических вальцов, вращающихся с одинаковыми или различными скоростями в противоположные стороны. Разрушение зерна или его частей в вальцовой машине происходит в зоне измельчения, постепенно сужающейся по ходу движения, за счёт сил сжатия и сдвига при различных скоростях вальцов. Степень измельчения продукта при прочих равных условиях зависит от соотношения размеров поперечного сечения измельчаемых частиц, величин выходного межвальцового зазора δ , а также от физических свойств зерна, технологических, геометрических и кинематических параметров операции и вальцов.

При определенных условиях в кинематических цепях вальцов может возникать замкнутый контур циркулирующей мощности, существенно влияющей на силовое нагружение. В условиях измельчения и холостого хода при отношении окружных скоростей вальцов $i = \frac{v_B}{v_M} = 1$, где v_B и v_M - окружные скорости парноработающих вальцов, мощность, подводимая от двигателя, распределяется практически

равномерно между обеими вальцами и зубчатая межвальцовая передача передает мощность $N_{\text{ц}} \approx 0,5 N_{\text{под}}$, где $N_{\text{под}}$ - мощность, подводимая от двигателя. При $i \neq 1$ происходит натяг замыкающей цепи и, как следствие, возникает замкнутый контур циркулирующей мощности. При этом мощность $N_{\text{ц}}$ может превышать $N_{\text{под}}$.

Пивоваренные заводы нашей страны оснащены трех- и пяти-позиционными дробилками. В первом случае две измельчающие и одна сепарирующая позиция, а во втором - три измельчающие и две сепарирующие. Регулирование операции дробления может производиться только изменением межвальцового зазора. В различных литературных источниках, производственных инструкциях и указаниях ВНИИПБЦ приведены рекомендации оптимального для пивоварения состава продуктов дробления сухого солода /табл. I/.

Таблица I

Рекомендуемый состав продуктов дробления солода в %

Авторы и источники реко- мендаций	Шелуха	Крупка		Мука
		крупная	мелкая	
Балантер И.И. и др.	15,0	20,0	30,0	35,0
Булгаков Н.И.	10 + 20	55 + 65		25,0
ВНИИПБЦ	20,0	50 + 55		25 + 30
Денчиков И.П.	20,0	50 + 55		25 + 30
Леонович И.В.	19 + 20	10 + 11	34 + 35	35,0
Мальцев П.М.	15 + 18	18 + 22	30 + 35	25 + 30
Чукмасова М.А.	20,0	50 + 55		25 + 30
Рудольф В.В.				
Яшинова П.М.	15,0	18,0	37,0	30,0

Однако чётко не указаны параметры операции и солододробилок, обеспечивающие получение такого состава. В специальной технической литературе и в промышленности нет единого мнения об упомянутых параметрах.

Рабочие поверхности валцов могут быть нарезными и абразивно-шлифованными, вращаться с одинаковыми $i = I$ и неодинаковыми $i = I,05$ окружными скоростями при скорости быстрого вальца $U_5 = 2,5 + 5,0$ м/с.

При увлажнении солода перед дроблением вязкость оболочек повышается, они меньше измельчаются, их выход увеличивается, а эндосперм дополнительно разрыхляется, особенно это важно при переработке плохо растворимого солода. Наличие в помоле мало измельченных оболочек, которые служат естественным фильтрующим материалом, способствует сокращению времени фильтрации затора.

В последние годы в качестве одного из направлений технического прогресса в пивоваренной промышленности принят переход к "мокрому" дроблению солода, понимая под этим дробление увлажненного солода без указания о степени увлажнения, времени отволаживания и параметров измельчающих валцов; кроме того, в литературных источниках отсутствуют данные о силовом нагружении механизма валцов при дроблении солода.

В ЧССР создана дробилка для мокрого дробления солода типа МАМО-60. В ФРГ создана вальцовая установка "Майномат" для "мокрого" дробления солода фирмы "Штейнекер". В обоих случаях не приведены параметры операции дробления и результаты испытаний этих установок.

Конструкторским бюро ВНИИЦН на базе вальцового измельчителя марки ВМ также разработана конструкция установки для

"мокрого" дробления солода. Однако для внедрения в промышленность операции дробления увлажненного солода на отечественных пивзаводах разработки специальных дробилок и модернизации эксплуатируемых в промышленности необходимо изыскать целесообразные параметры операции и вальцов.

Многочисленные исследования операции измельчения зерна и зернопродуктов пшеницы вальцами в мукомольном производстве указывают на возможность регулирования результатов операции измельчения, кроме изменения зазора δ , еще изменением кинематических параметров вальцов.

Все это указывает на необходимость постановки специального исследования операции дробления сухого и предварительно увлажненного солода с целью изыскания целесообразных параметров ее протекания.

ГЛАВА II. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИИ ДРОБЛЕНИЯ СОЛОДА ПРИМЕНТЕЛЬНО К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОЦЕССУ ПИВОВАРЕНИЯ

Целью настоящей работы было изучение интервалов изменения состава продуктов дробления сухого и предварительно увлажненного солода вальцами и силового нагружения механизма вальцов при варьировании технологических параметров операции, геометрических и кинематических параметров вальцов для формулирования исходных предпосылок к регулированию операции дробления солода и проектированию рациональной конструкции вальцовой солододробилки.

Задачами исследования было установление зависимости состава продуктов дробления солода и силового нагружения вальцов от параметров операции в интервалах:

- влажности предварительно увлажненного солода $B_{\text{Д}} = 5,6 + 25,2 \%$;
- удельной подачи $Q_{\text{В}} = 0,02 + 0,50 \text{ кг/с.м}$;
- окружной скорости быстрого вальца $V_{\text{Б}}^{\text{н}} = 2,0 - 4,2 \text{ м/с}$;
- отношения-окружных скоростей валцов $i = 1,0 - 2,7$.

Для этого экспериментальному определению подвергались следующие величины:

$U_{-1,2}, U_{1,2/1,0}, U_{1,0/0,56}, U_{0,56/0}$ - извлечение шелухи, крупной крупки, мелкой крупки и муки, %;

$N_{\text{под}}$ - удельная мощность, отдаваемая электродвигателем, Вт/м;

$N_{\text{ц}}$ - удельная мощность, циркулирующая через межвальцовую передачу, Вт/м;

$F_{\text{рм}}$ - удельное распорное межвальцовое усилие на валец М, Н/м.

Дроблению на экспериментальной вальцовой дробилке подвергался солод Жигулевский II класса по МРТУ 18/199-67 из ячменя Ганна Лоосдорфская, выращенного в Винницкой области.

Для реализации программы экспериментальных исследований была создана специальная вальцовая солододробилка, кинематическая схема которой представлена на рис. I, и применен лабораторный просеиватель типа РЛ-47 с набором из трех сит с размерами отверстий 1,2, 1,0 и 0,56.

Подводимая и циркулирующая мощности, а также распорное межвальцовое усилие, измерялись при помощи тензодатчиков омического сопротивления. Изменение сопротивления тензодатчиков усиливалось тензостанцией 8АНЧ-7М и регистрировалось светолучевым осциллографом Н-700.

Опыты проводились в пятикратной повторности. Полученные выборки экспериментальных данных о составе помола солода и энергосиловых показателях операции дробления подвергались математико-статистической обработке. При этом производилось установление нормальности закона распределения полученных случайных величин.

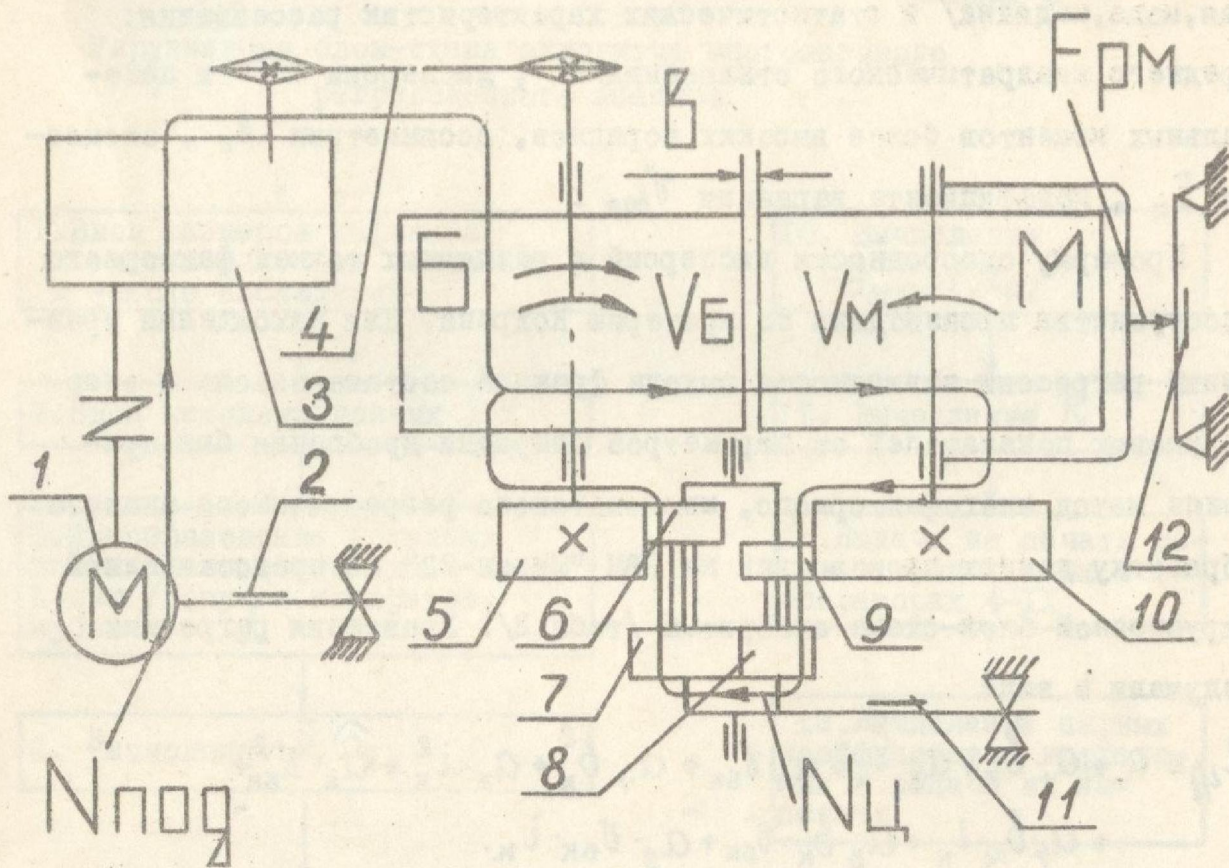


Рис. I. Экспериментальная солододробилка

I - электродвигатель; 2, II и I2 - тензодатчики омического сопротивления; 3 - вариатор оборотов; 4 - цепная передача; 5 и 10 - зубчатые колеса на вальцах Б и М; 6, 7, 8 и 9 - зубчатые колеса межвальцового динамометра; v_B и v_M - окружные скорости вальцов Б и М; $N_{под}$, $N_{ц}$ - мощности, соответственно, подводимая от двигателя, циркулирующая через межвальцовую передачу; $F_{рм}$ - расборное межвальцовое усилие.

и его характеристик: центра группирования /средняя арифметическая, мода, медиана/ и статистических характеристик рассеивания: среднего квадратического отклонения σ , дисперсии σ^2 и центральных моментов более высоких порядков, асимметрии A_s , эксцесса E_k , коэффициента вариации $v_{вар}$.

Проверку однородности дисперсий в различных точках факторного пространства производили по критерию Кохрена. Для нахождения уравнений регрессии зависимости выхода фракций состава помола и энергосиловых показателей от параметров операции дробления был применен метод многофакторного, многошагового регрессионного анализа. Обработку данных производили на ЭВМ "Минск-22" по представленной укрупненной блок-схеме алгоритма /табл.2/. Уравнения регрессии получали в виде

$$U_{ij} = a_0 + a_1 \cdot b_k + a_2 \cdot i_k + a_3 \cdot v_{bk} + a_4 \cdot b_k^2 + a_5 \cdot i_k^2 + a_6 \cdot v_{bk}^2 + a_7 \cdot b_k \cdot i_k + a_8 \cdot b_k \cdot v_{bk} + a_9 \cdot v_{bk} \cdot i_k$$

Искомые коэффициенты $\{a_0, a_1, \dots, a_9\}$ находили по методу наименьших квадратов. Оценку значимости коэффициентов уравнений производили по t -критерию Стьюдента. Для проверки адекватности полученных уравнений применили F -критерий Фишера. Для оценки тесноты связи между зависимыми переменными U_{ij} , N_i и $F_{рм}$ и факторами b , v_b , i применяли коэффициент множественной корреляции R

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (u_k - \hat{u}_k)^2}{\sum (u_k - \bar{u}_k)^2}} \quad / 1 /$$

Среднюю ошибку аппроксимации получали из уравнения

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{N} \frac{\sum_{k=1}^N (u_k - \hat{u}_k)}{\sum_{k=1}^N u_k} \cdot 100\% \quad / 2 /$$

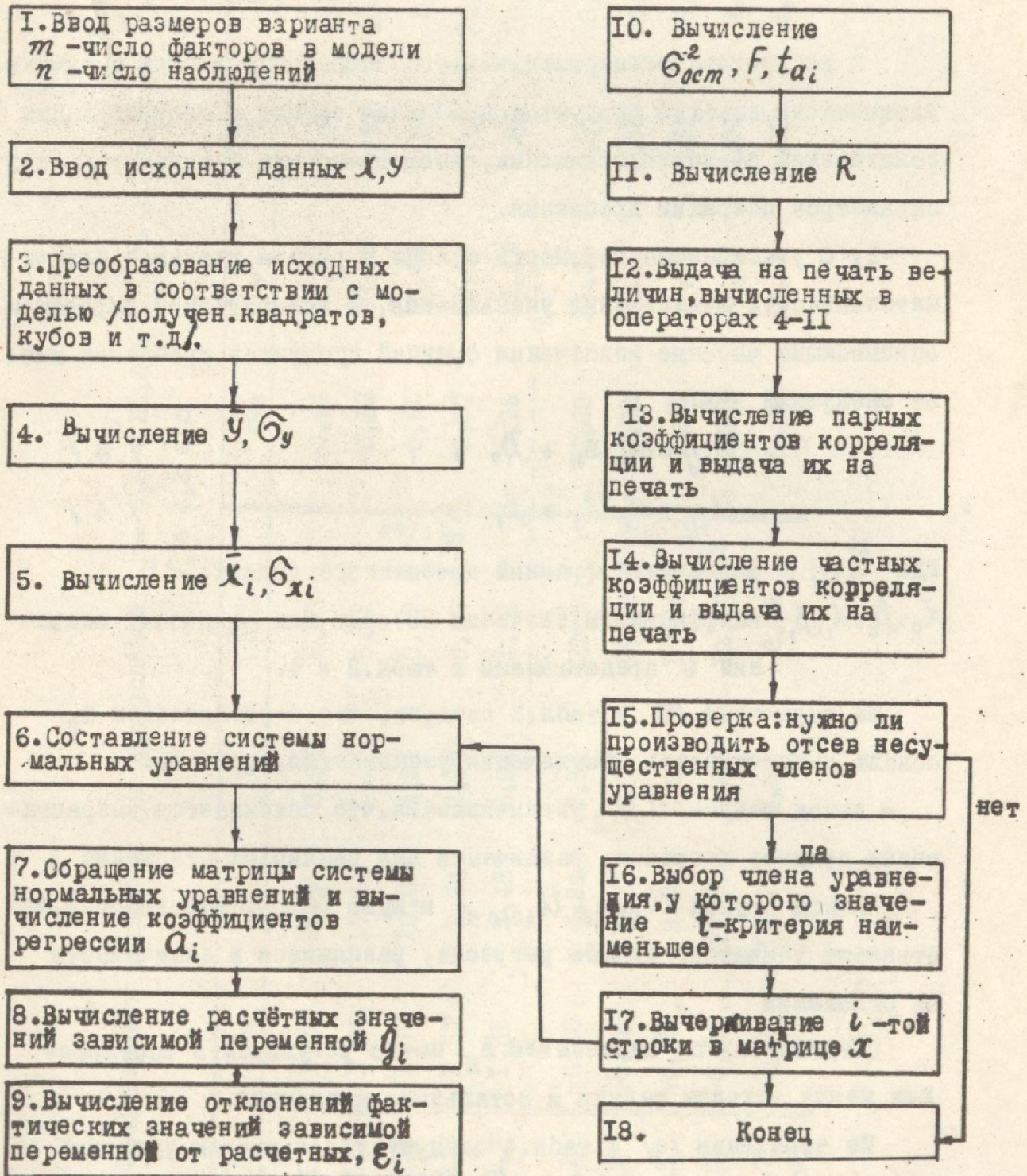
где u_k - экспериментальное значение функции;

\hat{u}_k - расчётное значение функции;

\bar{u}_k - средняя арифметическая экспериментального значения

Таблица 2

Укрупненная блок-схема алгоритма многошагового регрессионного анализа



функции;

N - объем экспериментальной выборки.

ГЛАВА III. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИИ ДРОБЛЕНИЯ СОЛОДА ВАЛЬЦАМИ

В результате экспериментального исследования были получены зависимости состава продуктов дробления солода и энергосиловых показателей от технологических, геометрических и кинематических параметров операции дробления.

I. С увеличением влажности солода и ростом удельной подачи интенсивность измельчения уменьшается, а эмпирические выражения, описывающие частные извлечения фракций продуктов дробления имеют следующий вид:

$$U_{i/j} = \alpha_0 \cdot B_{\text{л}} + \beta_0 \quad / 3 /$$

$$U_{i/j} = \alpha_1 Q_{\text{в}} + \beta_1 \quad / 4 /$$

где $U_{i/j}$ - извлечение фракций дробленного солода;
 $\alpha_0, \beta_0, \alpha_1, \beta_1$ - коэффициенты, значения которых для различных значений i представлены в табл. 3 и 4.

Из выражения /3/ и табл. 3 следует, что с увеличением $B_{\text{л}}$ солода интенсивность измельчения уменьшается, поэтому:

- выход шелухи $U_{-/1,2}$ увеличивается, что описывается возрастающими прямыми регрессии, различными для различных отношений i ;
- выход крупок $U_{1,2/1,0}$, $U_{1,0/0,56}$ и муки $U_{0,56/0}$ уменьшается, что отражают убывающие прямые регрессии, различающиеся в зависимости от отношений i .

Следовательно, изменением $B_{\text{л}}$ можно регулировать соотношения между выходом шелухи и остальными фракциями.

Из выражения /4/ и табл. 4 следует, что с ростом удельной подачи $Q_{\text{в}}$ при постоянных β , α_1 , i интенсивность измельчения уменьшается, вследствие чего:

Таблица 3
 Коэффициенты уравнения /3/ для условий $V_I = 5,6 + 25,2\%$, $Q_B = 0,5$ кг/с.м, $\delta = 0,40 \cdot 10^{-3}$ м,
 $V_B = 4,2$ м/с

i	U ^{-1/2}			U ^{0/50}		
	d_0	β_0	$\bar{\epsilon},\%$	d_0	β_0	$\bar{\epsilon},\%$
1,1	1,27	49,3	3,28	-0,44	15,06	15,15
1,3	1,66	17,55	5,61	-0,53	25,82	10,18
1,5	1,77	10,07	10,49	-0,61	30,39	8,61
2,0	1,57	9,64	9,07	-0,67	35,00	10,85
2,7	1,51	9,48	14,52	-0,73	36,83	10,07
1,1	-0,22	6,24	29,9	-0,60	29,36	8,16
1,3	-0,19	9,77	16,68	-0,92	46,85	2,42
1,5	-0,13	9,44	17,60	-1,02	50,10	5,07
2,0	-0,24	11,89	12,47	-0,65	43,47	4,10
2,7	-0,05	10,57	6,82	-0,72	43,12	4,17

Таблица 4

Коэффициенты уравнения /4/ для условий $Q_B = 0,02 + 0,87 \text{ кг/с.м.}$, $b = 0,40 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ и $U_B = 4,2 \text{ м/с}$

i	α_1	β_1	γ	$\bar{\epsilon},\%$	α_1	β_1	γ	$\bar{\epsilon},\%$	α_1	β_1	γ	$\bar{\epsilon},\%$	α_1	β_1	γ	$\bar{\epsilon},\%$
	$U_{1,2/1,0}$				$U_{1,0/0,56}$				$U_{0,56/0}$							
I,0	4,97	49,72	0,85	I,19	2,79	6,69	0,88	2,08	-2,66	17,05	0,92	1,75	-5,05	26,52	0,32	2,25
I,1	6,00	39,55	0,94	I,11	2,15	8,45	0,53	8,29	-3,92	21,35	0,70	3,88	-4,22	20,65	0,92	1,48
I,3	5,5	21,96	0,21	21,97	3,68	10,08	0,54	10,91	-1,83	25,92	0,66	1,89	-11,02	42,06	0,41	13,19
I,5	8,69	17,87	0,69	7,89	2,54	11,20	0,39	9,57	-7,60	33,89	0,98	1,24	-3,32	37,04	0,22	8,21
2,0	0,38	20,00	0,70	4,34	8,59	9,98	0,85	9,69	-6,15	37,36	0,77	3,49	-2,08	32,44	0,77	1,09
2,7	2,00	15,13	0,70	1,05	4,49	11,24	0,77	6,40	0,17	38,32	0,33	3,16	-2,65	33,21	0,79	1,39
								$B_{II} = 5,6\%$								
I,0	12,38	61,94	0,96	0,96	1,31	3,84	0,44	12,62	-3,4	10,80	0,80	3,82	-7,65	23,42	0,92	2,55
I,1	24,60	47,84	0,93	3,40	3,60	2,73	0,68	15,07	-8,68	15,88	0,80	8,90	-12,21	30,44	0,99	0,71
I,3	11,20	54,73	0,96	1,13	0,68	6,40	0,20	8,44	-5,59	15,44	0,94	2,61	-7,92	31,25	0,67	6,06
I,5	9,18	39,49	0,95	1,19	3,12	6,29	0,58	9,66	-7,17	22,17	0,96	1,86	-8,43	34,27	0,65	5,01
2,0	5,16	33,30	0,93	0,88	0,15	8,72	0,62	13,70	-5,75	25,54	0,75	3,10	-0,77	32,43	0,28	1,20
2,5	6,29	32,01	0,98	0,22	2,37	8,34	0,71	13,97	2,63	23,62	0,35	5,39	-2,14	33,88	0,38	2,44

$B_{II} = 10,6\%$

- выход шелухи $U_{-/1,2}$ и крупной крупки $U_{1,2/1,0}$ увеличивается, что описывается возрастающими прямыми регрессии для всех отношений i , кроме $i = 2,7$, где $U_{-/1,2}$ при $V_{д} = 5,6\%$ уменьшается;

- выход мелкой крупки $U_{1,0/0,56}$ и муки $U_{0,56/0}$ уменьшается, на что указывают убывающие прямые регрессии, различные для различных отношений i , кроме $i = 2,7$, где выход мелкой крупки $U_{1,0/0,56}$ при $V_{д} = 5,6\%$ и $10,6\%$ возрастает.

Снижение интенсивности измельчения солода с ростом Q_B происходит, очевидно, за счёт возрастания распорных межвальцовых усилий, несколько увеличивающих вследствие податливости механизма вальцов межвальцовый зазор b . Уменьшение выхода $U_{-/1,2}$ и увеличение выхода $U_{1,0/0,56}$ при $V_{д} = 5,6, 10,6\%$ и $i = 2,7$ происходит за счёт превалирующего действия деформации скалывания над деформацией сжатия при дроблении сухого солода. При дроблении солода с $V_{д} = 20,6\%$ и $i = 1,0$ и $1,1$ в результате работы солододробилки в режиме плющилки происходит замазывание рифлей, налипание продуктов дробления на вальцы, поэтому их ситовой анализ невозможен.

2. Зависимость состава продуктов дробления солода от геометрических и кинематических параметров, при влажности $5,6 + 20,6\%$, описываются полиномами первого и второго порядков, представленными в табл.5, из которой следует, что при $V_{д} = 5,6$, с ростом межвальцового зазора b интенсивность измельчения уменьшается, вследствие чего

- выход шелухи $U_{-/1,2}$ и крупной крупки $U_{1,2/1,0}$ увеличивается, что описывается возрастающими прямыми регрессии, различными для различных отношений i ;

- выход мелкой крупки $U_{1,0/0,56}$ с ростом зазора b описывается кривыми регрессии, претерпевающими максимум при одном и том же

$$b = 0,27 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

Ф. 6 12 480

Таблица 5

Зависимость состава продуктов дробления солода вальцами от зазора $\delta = 0,15 + 0,40 \text{ мм}$, окружной скорости $v_s = 2,0 + 4,2 \text{ м/с}$ и отношения окружных скоростей $i = 1,0 + 2,7$

$V_{II}, \%$	Уравнения регрессии	R	$\bar{\epsilon}, \%$
<u>5.6</u> 0,105	$U_{-1/2} = 48,11 \delta - 1,99 v_s - 16,97 i + 44,56$	0,73	4,19
	$U_{1,2/1,0} = -23,90 \delta + 0,19 v_s^2 - 1,69 i^2 + 31,04 \delta i - 0,77 v_s i + 8,87$	0,82	18,85
	$U_{1,0/0,56} = 156,60 \delta + 1,21 v_s + 46,76 i - 286,90 \delta^2 - 10,37 i^2 - 41,70$	0,90	11,14
	$U_{0,56/0} = 125,90 \delta + 76,76 i - 158,16 \delta^2 - 13,44 i^2 - 70,49 \delta i - 34,09$	0,92	8,60
<u>10.6</u> 0,057	$U_{-1/2} = 32,03 \delta - 107,89 i + 23,33 i^2 + 11,04 \delta i + 130$	0,97	8,88
	$U_{1,2/1,0} = 8,11 i - 30,50 \delta^2 - 2,92 i^2 + 13,72 \delta i - 3,47$	0,82	14,67
	$U_{1,0/0,56} = 26,26 \delta + 1,10 v_s + 35,89 i - 92,64 \delta^2 - 8,68 i^2 + 16,79 \delta i - 22,04$	0,87	6,74
	$U_{0,56/0} = -45,90 \delta + 64,10 i + 96,49 \delta^2 - 11,70 i^2 - 42,10 \delta i - 7,70$	0,94	6,80
<u>15.6</u> 0,037	$U_{-1/2} = 53,89 \delta - 78,66 i + 16,81 i^2 + 101,89$	0,88	11,45
	$U_{1,2/1,0} = 6,84 i - 2,34 i^2 - 24,40 \delta^2 + 12,10 \delta i - 1,40$	0,73	15,65
	$U_{1,0/0,56} = 28,18 i + 0,34 v_s - 7,02 i^2 - 59,35 \delta^2 + 22,09 \delta i - 12,49$	0,95	7,29
	$U_{0,56/0} = 44,64 i - 7,30 i^2 - 40,10 \delta i + 3,68$	0,80	11,17
<u>20.6</u> 0,021	$U_{-1/2} = 162,52 \delta - 64,35 i + 18,51 i^2 - 54,56 \delta i + 68,23$	0,87	10,67
	$U_{1,2/1,0} = 14,53 i - 3,77 i^2 + 5,32 \delta i - 8,52$	0,73	13,54
	$U_{1,0/0,56} = 25,32 i - 71,65 \delta - 7,45 i^2 + 54,62 \delta i + 2,33 v_s \delta + 3,24$	0,92	7,12
	$U_{0,56/0} = -258,97 \delta + 31,39 i + 277,96 \delta^2 - 7,65 i^2 + 49,52$	0,84	9,79

- выход муки $U_{0,56/0}$ описывается убывающими в исследованном интервале кривыми регрессии, кроме $i = 1,0$ и $1,1$, где кривая регрессии претерпевает максимум при $b_2 = 0,17 \cdot 10^{-3}$ м и $b_2 = 0,15 \cdot 10^{-3}$ м.

С ростом окружной скорости v_B интенсивность измельчения возрастает, так как растёт скорость деформации частиц, поэтому

- выход шелухи $U_{-1,2}$ уменьшается, что описывается убывающими прямыми регрессии;

- выход крупной крупки $U_{1,2/1,0}$ описывается кривыми регрессии, претерпевающими минимум при значениях $v_B^* = 2,02 + 5,47$ м/с, зависящий от отношения i ;

- выход мелкой крупки $U_{1,0/0,56}$ увеличивается, что описывается возрастающими прямыми регрессии;

- выход муки $U_{0,56/0}$ существенно не зависит от изменения скорости в исследуемом интервале v_B .

С ростом отношения i интенсивность воздействия валцов на солод возрастает в результате увеличения числа воздействий рифлей и того, что измельчение производится с преобладанием деформации скалывания. Однако увеличение отношения i производится уменьшением окружной скорости v_M , что уменьшает среднюю скорость $v_{ср} = 0,5 (v_B + v_M)$ прохождения продукта через валцы и приводит к повышению распорных усилий $F_{рм}$, несколько увеличивающих за счёт податливости валцов межвалцовый зазор, что снижает интенсивность измельчения. В результате таких взаимно-обратных влияний на операцию измельчения с ростом отношения i :

- количество шелухи $U_{-1,2}$ убывает при всех значениях зазора b ;

- выход крупной крупки $U_{1,2/1,0}$ описывается возрастающими кривыми регрессии, претерпевающими максимум при различных значениях отношения $i_2 = 1,35 + 2,70$, зависящих от величины зазора b ;

- выход мелкой крупки $U_{1,0/0,56}$ описывается кривыми регрессии

положение максимума которых $i_0 = 2,26$ не зависит от зазора b ;

- выход муки $U_{0,56/0}$ описывается кривыми регрессии, претерпевающими максимум при различных $i_0 = 1,81 - 2,43$, зависящих от зазора b .

При дроблении увлажненного солода не представляется возможным достигнуть рекомендуемого выхода всех фракций /табл.1/, поскольку выход шелухи получается завышенным за счёт уменьшения выхода других фракций. Поэтому следует рекомендовать наряду с увеличением отношения i увеличить интервал выхода шелухи $U_{-1,2} = 15 + 30 \%$.

Для использования этих уравнений к расчёту состава помола на вальцовых солододробилках при наиболее часто применяемых подачах $Q_B = 0,5$ кг/с.м следует пользоваться коэффициентами пересчёта, полученными экспериментально и представленными в табл.6.

Таблица 6

Коэффициенты пересчёта результатов вычислений показателей по уравнениям регрессии /табл.5/ применительно к условиям дробления $Q_B = 0,5$ кг/см, $i = 2,5 + 2,7$, $b = 0,35$ мм и $V_B = 4,2$ м/с

Обозначение фракций	Q_B кг/с.м; V_B %			
	0,105; 5,6	0,057; 10,6	0,037; 15,6	0,021; 20,6
$U_{-1,2}$	0,97	1,32	1,19	1,39
$U_{1,2/1,0}$	1,12	1,30	1,18	1,15
$U_{1,0/0,56}$	0,95	0,80	0,90	0,79
$U_{0,56/0}$	0,94	0,95	0,80	0,74

На основании анализа прогнозных таблиц методом прямого поиска /перебора/ были избраны параметры операции дробления солода, приведенные в табл.7.

Таблица 7

Рекомендуемый зазор δ и отношение i при $Q_B \leq 0,5$ кг/с.м,
 $v_B = 4,2$ м/с

Параметры вальных	Влажность солода, %			
	5,6	10,6	15,6	20,6
δ , мм	0,40	0,35	0,35	0,35
i	2,3 + 2,5	2,4 + 2,5	2,5 + 2,6	2,5 + 2,7

3. С увеличением влажности солода $V_{\text{л}}$ и ростом удельных подач Q_B силовое нагружение механизма валцов возрастает, что описывается возрастающими прямыми регрессии

$$\begin{aligned} N_{\text{под}} &= \alpha_1 \cdot V_{\text{л}} + \beta_1, & N_{\text{под}} &= \alpha_1 \cdot Q_B + \beta_1, \\ N_{\text{ц}} &= \alpha_2 \cdot V_{\text{л}} + \beta_2, & N_{\text{ц}} &= \alpha_2 \cdot Q_B + \beta_2, \\ F_{\text{рм}} &= \alpha_3 \cdot V_{\text{л}} + \beta_3, & F_{\text{рм}} &= \alpha_3 \cdot Q_B + \beta_3, \end{aligned} \quad / 5 / \quad / 6 /$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ - коэффициенты, значения которых для различных значений i представлены соответственно в табл.8 и 9, в которых Z - коэффициент корреляции.

С увеличением $V_{\text{л}}$ солода его оболочки становятся более эластичными и меньше дробятся, а энергосиловые показатели солододробилки $N_{\text{под}}, N_{\text{ц}}, F_{\text{рм}}$ возрастают.

С ростом удельных подач Q_B продукт проходит через валцы более плотным потоком, в результате чего повышаются распорное усилия $F_{\text{рм}}$ и значения циркулирующей $N_{\text{ц}}$ и подводимой $N_{\text{под}}$ мощностей.

4. Зависимость энергосиловых показателей солододробилки $N_{\text{под}}, N_{\text{ц}}$ и $F_{\text{рм}}$ от геометрических и кинематических параметров при $V_{\text{л}} = 5,6 + 20,6$ % описывается уравнениями регрессии, представленными в табл.10.

Таблица 8

Коэффициенты уравнений /5/ для условий $V_{\text{л}} = 5,6 - 25,2\%$, $Q_{\text{в}} = 0,50 \text{ кг/с.м.}$,
 $b = 0,40 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и $V_{\text{б}} = 4,2 \text{ м/с}$

i	α_1	β_1	τ	$\bar{\epsilon},\%$	α_2	β_2	τ	$\bar{\epsilon},\%$	α_3	β_3	τ	$\bar{\epsilon},\%$
1,1	266	13308	0,99	1,19	321	12120	0,55	14,5	273	5455	0,97	4,49
1,3	205	13046	0,95	2,27	551	20413	0,87	4,75	295	4156	0,96	6,01
1,5	156	12818	0,97	1,23	549	15727	0,96	3,24	191	3500	0,99	2,32
2,0	167	12472	0,98	1,06	534	2339	0,94	6,87	186	1069	0,98	5,86
2,7	120	12443	0,94	1,85	130	3491	0,93	9,01	178	324	0,99	2,66

Таблица 9
 Коэффициенты уравнений /6/ для условий $Q_B = 0,02 - 0,50$ кг/с.м, $\delta = 0,40 \cdot 10^{-3}$ м
 и $U_B = 4,2$ м/с

i	α_1	β_1	z	$\bar{\epsilon}, \%$	α_2	β_2	z	$\bar{\epsilon}, \%$	α_3	β_3	z	$\bar{\epsilon}, \%$
$B_{II} = 5,6 \%$												
I,0	8944	I4I66	0,99	I,83	-2I500	-2798	0,80	II,50	I4626	3460	0,98	9,79
I,I	8I58	I3429	0,99	I,12	30500	5733	0,99	I,3I	I0430	36I9	0,96	9,44
I,3	8779	I2432	0,96	3,70	56357	-I00	0,99	9,69	I2633	I632	0,99	7,50
I,5	74I5	II553	0,98	2,60	35905	-477	0,97	I3,72	8350	I865	0,98	8,0I
2,0	8674	9363	0,98	2,50	I2820	67I	0,97	I4,60	7560	I284	0,96	I3,14
2,7	9I05	7II2	0,99	I,39	83I9	I43	0,95	8,02	67I8	I79	0,99	7,00
$B_{II} = 10,6 \%$												
I,0	79II	I2428	0,9I	4,15	-I334	-I595	0,90	9,23	20475	I645	0,93	7,34
I,I	IOI55	II028	0,94	4,94	3272I	28	0,99	10,49	I8623	IO25	0,96	9,59
I,3	6893	IO763	0,90	4,63	38II8	6I	0,97	2I,14	II029	948	0,97	II,05
I,5	II883	8967	0,97	4,29	30793	-9I2	0,39	7,76	8623	643	0,35	8,47
2,0	II924	84I3	0,97	4,10	I722I	99I	0,97	I6,88	8066	I75	0,96	I2,87
2,7	I3885	69I2	0,98	3,82	I4I44	-304	0,99	I5,94	80I5	-I38	0,97	8,3

Таблица 10

Зависимость энергосиловых показателей операции дробления солода вальцами от зазора $b = 0,15-0,40$ мм, скорости $v_s = 2,0-4,2$ м/с и отношения $i = 1,1 - 2,7$

$\frac{V_{л}}{Q_{в}}, \text{кг/с.м}$	Уравнения регрессии	R	$\bar{\epsilon}, \%$
$\frac{5,6}{0,105}$	$N_{под} = 9836 - 9669b + 1227v_s - 1634i$	0,90	10,47
	$N_{ш} = 3113 \cdot b^{-0,96} \cdot v_s^{0,40} \cdot i^{-1,80}$	0,88	11,97
	$F_{рм} = 45214 - 13368b - 8243v_s - 21710i + 4005i^2 + 1237i \cdot v_s + 704v_s^2$	0,94	6,40
$\frac{10,6}{0,057}$	$N_{под} = 9205 - 8621b + 992v_s - 886i$	0,94	4,36
	$N_{ш} = 2481 \cdot b^{-1,00} \cdot v_s^{0,42} \cdot i^{-1,56}$	0,56	14,70
	$F_{рм} = 24145 - 987v_s - 13882i - 63135b^2 + 2550i^2 + 8374bi$	0,90	14,00
$\frac{15,6}{0,037}$	$N_{под} = 11685 - 14051b + 1063v_s - 1438i$	0,92	6,88
	$N_{ш} = 40592 - 103347b + 8975v_s - 24226i + 77026b^2 + 2995i^2 - 15653bv_s + 37679bi - 1708v_s i$	0,96	11,90
	$F_{рм} = 35124 - 25544b - 2716v_s - 16058i - 60831b^2 + 2709i^2 + 4600v_s b + 11376bi$	0,96	10,0
$\frac{20,6}{0,021}$	$N_{под} = e^{8,245} \cdot b^{-0,342} \cdot i^{-0,164} \cdot v_s^{0,45}$	0,96	3,30
	$N_{ш} = e^{7,96} \cdot b^{-0,214} \cdot i^{-0,654} \cdot v_s^{0,45}$	0,82	12,50
	$F_{рм} = e^{4,59} \cdot b^{-3,960} \cdot i^{-0,346} \cdot v_s^{-0,657}$	0,96	16,80

Из анализа уравнений регрессии для $V_{л} = 5,6 \%$ следует, что с увеличением межвальцового зазора δ все показатели силового нагружения валцов $N_{под}$, $N_{ц}$ и $F_{рм}$ уменьшаются вследствие уменьшающейся интенсивности измельчения.

С ростом окружной скорости $v_{б}$ мощности $N_{под}$ и $N_{ц}$ возрастают за счёт увеличения интенсивности измельчения и роста непроизводительных потерь энергии. Величина распорного усилия $F_{рм}$ снижается в связи с уменьшением количества частиц, одновременно проходящих зону измельчения.

С увеличением отношения i интенсивность измельчения возрастает, но силовое нагружение валцов в исследованном интервале уменьшается вследствие перехода от измельчения раздавливанием /при $i = I$ / к измельчению с превалированием деформации скалывания при $i > I$. Однако поскольку увеличение отношения i достигается уменьшением $v_{м}$, то усилие $F_{рм}$ возрастает в конце исследованного интервала, обуславливая минимум кривой $F_{рм} = f(i)$ при $i = 2,06$ независимо от величины зазора δ .

При дроблении увлажненного солода характер силового нагружения валцов аналогичный.

Для использования этих уравнений к расчёту энергосиловых показателей операции дробления солода на валцовых солододробилках при наиболее часто применяемых подачах $Q_{в} = 0,5$ кг/с.м следует пользоваться коэффициентами пересчёта, полученными экспериментально и представленными в табл. II.

Таблица II

Коэффициенты пересчёта результатов вычислений по уравнениям регрессии /табл. I0/ применительно к $Q_B = 0,5$ кг/с.м, $i = 2,5-2,7$,
 $\beta = 0,35$ мм и $v_B = 4,2$ м/с

Показатели	Q_B кг/с.м ; $V_{Д}$ %			
	0,105; 5,6	0,057; 10,6	0,037; 15,6	0,021; 20,6
$N_{под}$	1,75	1,62	1,84	1,70
$N_{ц}$	1,62	1,70	2,90	2,40
$F_{рм}$	1,80	4,30	5,25	5,60

ГЛАВА IV. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Для производственной проверки результатов экспериментального исследования операции дробления увлажненного солода на Винницком пивзаводе на основе разработок ВНИИПБ и изысканных данных исследованием параметров была изготовлена и смонтирована установка для увлажнения и дробления солода. Увлажнение производилось тепловой водой / $t^{\circ} = 39 - 42^{\circ} C$ /. Солод поступал на дробление с $V_{Д} = 13,6 - 15,0$ %. Дробление производили одной парой валцов на производственной двухпозиционной дробилке при параметрах валцов, полученных настоящим исследованием.

Проведенные испытания подтвердили целесообразность и реальность перехода к увлажнению солода перед дроблением на установке ВНИИПБ и использования находящихся в эксплуатации, на пивзаводах многопозиционных солододробилок. Эти солододробилки подлежат модернизации в заводских условиях путем использования только одной пары валцов /позиции/, увеличения окружной скорости быстрого валца до $v_B = 4,2$ м/с и отношения окружных скоростей до $i = 2,5$, нарезки рифлей с $Z_p = 600$ риф/м под уклоном $\gamma = 6$ %

к образующей и установки их "спинкой против спинки".

Расширение интервала выхода мелуки до $U_{-1,2} = 15-30 \%$ при дроблении увлажненного солода увеличило скорость фильтрации затора, но не снизило выход экстракта. Сокращение времени фильтрации пивного затора из увлажненного солода, дробленного модернизированной солододробилкой, по сравнению с фильтрацией затора из сухого солода составило 11,5 %.

Экономическая эффективность от внедрения в производство результатов диссертационной работы по однопозиционному дроблению предварительно увлажненного солода с использованием имеющейся /но модернизированной/ солододробилки применительно к Винницкому пивоваренному заводу составит 65,0 тыс.рублей в год.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. На пивоваренных заводах страны в настоящее время осуществляется дробление сухого солода с влажностью 5 + 6 % на трех- и пятипозиционных дробилках, в которых регулирование операции дробления производится только изменением межвальцового зазора.

2. В различных литературных источниках и производственных инструкциях приведены сходные рекомендации оптимального для пивоварения состава продуктов дробления солода, однако не указаны параметры солододробилок, обеспечивающие получение этого состава. Более того, нет единого мнения об упомянутых параметрах, а также отсутствуют данные о силовом нагружении механизма вальцов при дроблении солода.

3. Одним из направлений технического прогресса в пивоваренной промышленности намечается переход к "мокрому" дроблению солода, понимая под этим дробление увлажненного солода без указаний о степени увлажнения, времени отволаживания и параметров измельчающих вальцов.

4. Многочисленные исследования операции измельчения зерна и зернопродуктов пшеницы вальцами в мукомольном производстве указывают на возможность регулирования операции измельчения солода, кроме изменения зазора δ , еще изменением кинематических параметров валцов: окружной скорости быстрого вальца V_B и отношения окружных скоростей парноработающих валцов i .

5. Экспериментальным исследованием установлены эмпирические зависимости состава помола и энергосиловых показателей от технологических параметров операции дробления $[V_{д}, Q_B]$, геометрических $[\delta]$ и кинематических $[V_B, i]$ параметров валцов. Коэффициенты корреляции и корреляционные отношения этих зависимостей указывают на достаточную тесноту связи исследуемых показателей операции дробления с варьируемыми параметрами, а невысокие значения погрешностей аппроксимации - на допустимость использования полученных выражений для:

- расчёта параметров дробильных валцов в зависимости от заданного количественного отношения фракций;
- регулирования состава помола изменением параметров $V_{д}, Q_B, \delta, V_B, i$;
- расчёта, конструирования и модернизации солододробилок.

6. При дроблении солода с $V_{д} = 5,6\%$ на однопозиционной солододробилке получали состав помола, близкий к рекомендуемому при межвальцовом зазоре $\delta = 0,40 \cdot 10^{-3}$ м, окружной скорости $V_B = 2,0 + 4,2$ м/с и отношении окружных скоростей валцов $i = 2,3 - 2,5$.

7. При дроблении увлажненного солода на однопозиционной дробилке, в связи с увеличением выхода шелухи $U_{-1,2}$, необходимо рекомендовать расширение интервала до $U_{-1,2} = 15 - 30\%$ при межвальцовом зазоре $\delta = 0,55 \cdot 10^{-3}$ м, окружной скорости $V_B = 2,0 + 4,2$ м/с и отношении окружных скоростей: $i = 2,4 + 2,5$ для $V_{д} = 10,6\%$; $i = 2,5 + 2,6$ для $V_{д} = 15,6\%$; $i = 2,5 + 2,7$ для $V_{д} = 20,6\%$.

8. На основе проведенных исследований возникла возможность модернизации существующих многопозиционных солододробилок путем отключения лишних позиций, увеличения скорости одной из вальцовых пар до $v_5 = 4,2$ м/с и отношения окружных скоростей вальцов до $i = 2,5$. Проведенные совместно с сотрудниками ВНИИПН производственные испытания показали целесообразность и реальность этой модернизации. Сокращение времени фильтрации пивного затора по сравнению с этой же операцией на дробленом сухом солоде составило 11,5 %. Расширение интервала выхода шелухи до $U_{-1,2} = 15-30$ % при дроблении увлажненного солода не оказывает отрицательного влияния на скорость фильтрации затора и выход экстракта.

9. Для измельчения увлажненного солода в одной измельчающей позиции можно рекомендовать серийно выпускаемый промышленностью вальцовый измельчитель ВМ.

10. Экономический эффект от внедрения результатов исследования в производство применительно к Винницкому пивзаводу составляет 65,0 тыс.руб/год.

По теме диссертации опубликованы следующие работы в соавторстве с научным руководителем - кандидатом технических наук, доцентом Г.Д.Гальпериним.

1. Исследование зависимости гранулометрического состава продуктов дробления солода от геометрических и кинематических параметров вальцовой пары. - "Ферментная и спиртовая промышленность", 1973, № 4.

2. Исследование зависимости степени измельчения солода от технологических и кинематических параметров операции дробления. - "Изв. вузов, Пищевая технология", 1974, № 3.

3. Влияние влажности солода и удельной загрузки вальцовой солододробилки на крупность продуктов измельчения. - "Изв. вузов, Пищевая технология", 1974, № 3.

вая технология", 1974, № 2.

4. Исследование зависимости силового нагружения вальцовой солододробилки от удельной подачи и влажности солода. - "Харчова промисловість", 1974, № 3.

5. Исследование зависимости энергосиловых показателей солододробилки от геометрических и кинематических параметров вальцов. - "Пивоваренная и безалкогольная промышленность", 1973, № 7.

Материалы диссертации доложены:

1. На XXXIII научной конференции Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Домоносова. Одесса, 1972.

2. На расширенном заседании технического совета Винницкого областного управления пищевой промышленности. Винница, 1973.