

учет  
985

Министерство высшего образования СССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени И. В. СТАЛИНА

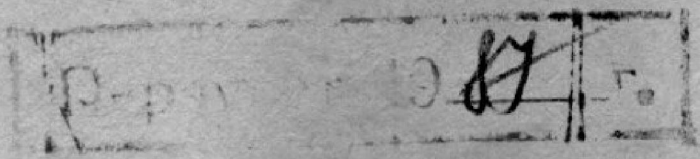
*П. П. ЯСТРЕБОВ*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ  
ПРИ МНОГОСОРТНЫХ ПОМОЛАХ ПШЕНИЦЫ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

*диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук*

Научный руководитель — доктор технических наук,  
профессор В. Я. ГИРШСОН



Инженер П. П. ЯСТРЕБОВ

ССС  
Я

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ  
ПРИ МНОГОСОРТНЫХ ПОМОЛАХ ПШЕНИЦЫ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

*диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук*

Научный руководитель — доктор технических наук,  
профессор В. Я. ГИРШСОН

v018083

ОНАХТ  
БИБЛИОТЕКА

ОНАХТ 13.04.12  
Исследование влияния



v018083

Оде

БИБЛИО

## I. Введение. Задачи и цели научно-экспериментального исследования

В развитие задач, поставленных XIX съездом КПСС, пятой сессией Верховного Совета СССР были приняты важные решения по организации в течение ближайших двух-трех лет крутого подъема производства предметов народного потребления.

Постановления сентябрьского и февральско-мартовского Пленумов ЦК КПСС явились практической программой в разрешении задачи создания изобилия сельскохозяйственных продуктов в нашей стране.

В постановлении Совета Министров СССР и ЦК КПСС „О расширении производства продовольственных товаров и улучшении их качества“ уделено большое внимание расширению мукомольной промышленности и предусмотрено значительное увеличение производства сортовой муки, особенно высоких сортов.

В связи с решениями партии и правительства, направленными на быстрое обеспечение изобилия предметов народного потребления в нашей стране, повышение технико-экономических показателей в использовании сырья, оборудования, энергии и топлива на единицу выпускаемой продукции в мукомольной промышленности приобретает особое значение.

Поэтому в течение ближайшего времени в мукомольной промышленности надлежит разрешить ряд проблем, важнейшими из которых, наряду с максимальным использованием сырья, являются: а) автоматизация производственных процессов с широким внедрением *автоматизированного индивидуального электропривода* для всех мельничных машин и, в первую очередь, *для вальцевых станков*; б) повышение эффективности энергоиспользования в технологическом процессе.

Мукомольные предприятия принадлежат к числу весьма энергоемких предприятий. Абсолютная величина стоимости

энергии на крупной сортовой мельнице выражается цифрами порядка нескольких миллионов рублей в год, что составляет по всей мукомольно-крупяной промышленности весьма значительные суммы.

Вопросы эффективности энергоиспользования приобрели особое значение при переводе мельниц обойного помола на сортовые помолы и при повышении производительности существующих мельниц сортового помола.

Значительная часть исследований, связанных с энергоемкостью процесса размола зерна, была посвящена изучению прочности отдельных зерен (Афанасьев, Чистов, Тарутин, Орлов, Гиршсон, Врасский, Шполянская и др.), а не зерновой массы в целом. Энергоемкость процесса размола зерновой массы впервые была исследована проф. Я. Н. Куприцем. В ряде исследований рассматривались лишь обойные помолы (Панченко, „Промзернопроект“) или сортовые с изучением 2-х — 3-х систем (Демидов, Суворов), не охватывая остальных основных систем, имеющих весьма важное значение в технологическом процессе мельницы.

Кроме того, большая часть работ была далека от современных производственных технологических условий (нагрузки, режимы, помолы).

Отсутствие достаточно проверенных данных об энергоемкости процесса измельчения при различных технологических условиях создает большие затруднения при проектировании индивидуального привода для вальцевых станков и вынуждает проектные организации вводить в практику проектирования запас мощности, достигающий до 25—30%, что, вообще говоря, недопустимо, так как вызывает уменьшение к. п. д. и понижение коэффициента мощности силовых установок.

Так как вопросы влияния на энергоемкость процесса измельчения зерна таких существенных технологических факторов как режимы измельчения, удельные нагрузки, качественные показатели зерновых смесей совершенно недостаточно изучены, то их исследование является весьма своевременной и актуальной технологической задачей, имеющей большое народнохозяйственное значение.

Из изложенного вытекает актуальность настоящего технологического исследования, имеющего целью установить:

а) влияние режимов измельчения на энергоемкость процесса измельчения по отдельным операциям (по отдельным драным и размольным системам);

б) влияние качественных показателей зерновых смесей (по признакам их стекловидности и содержания в смесях твердых пшениц) на энергоемкость процессов дранья, размола и в целом.

Практической целью рассматриваемого научно-экспериментального исследования является необходимость дать на основе анализа и обобщений материал:

а) для широкого внедрения в мукомольной промышленности индивидуального автоматизированного привода вальцевых станков;

б) для установления научно обоснованной методики в нормировании мощности и удельного расхода энергии для вальцевых станков, которая стимулировала бы улучшение технико-экономических показателей;

в) для определения оптимальных энергетических режимов работы вальцевых станков на отдельных драных и размольных системах с целью улучшения энергоиспользования.

Кроме того, нашими исследованиями имелось в виду проверить на драных и основных размольных системах некоторые положения известных гипотез дробления по отношению к зерну и продуктам его переработки, поскольку детальных исследований в этой области не имеется.

## II. Экспериментальная база и методика исследования

Основным направлением в методике наших исследований было стремление создать такие условия в их проведении, которые были бы достаточно близки к реальным производственным условиям. Исходя из этого было проведено два комплекса экспериментов:

1) в лабораторной обстановке, с созданием условий, возможно близких к производственным,

2) в производственной обстановке, с целью проверки и корректировки результатов, полученных в лабораторных условиях.

Для исследования в лабораторных условиях, на экспериментальной мельнице при мелькомбинате им. С. М. Кирова была осуществлена технологическая схема по принципам схем сортовых помолов  $15 + 30 + 33\%$  и  $45 + 33\%$ , состоящая из комплекса лабораторных зерноочистительных, размалывающих, просеивающих машин и оборудованная измерительным стендом.

В качестве сырья для исследований применялась пшеница IV типа, южных районов произрастания, поступавшая на мелькомбинат им. С. М. Кирова и перерабатывавшаяся в течение ряда лет. В зависимости от характера исследований менялась стекловидность зерновой массы.

Для исследования влияния примесей твердых пшениц применялась твердая пшеница II типа (район произрастания — Ростовская область).

При исследовании влияния режимов извлечения на энергоемкость процесса измельчения в лабораторных условиях, отбирались продукты, поступающие на станки исследуемой системы производственной мельницы (при нормальной ее работе), и подвергались измельчению на лабораторном станке. Кинематические и геометрические параметры лабораторного станка соответствовали параметрам производственного станка.

Величина мощности, потребляемой вальцевым станком при постоянстве исходного сырья, кинематических параметров станка и состояния его мелющих поверхностей, может быть представлена как функция извлечения и удельной нагрузки:

$$P = f(\Delta u, q).$$

При  $q = \text{const}$  для трех его постоянных значений была найдена зависимость  $P = f(\Delta u)$ . Путем математического исследования полученной экспериментальной зависимости были установлены оптимальные энергетические условия работы станка.

Производственная проверка полученных на лабораторной установке результатов осуществлялась на 4 й секции Ленинградского мелькомбината им. С. М. Кирова в процессе нормальной ее работы, где были смонтированы передвижной двигатель и измерительный стенд, перемещавшиеся во время испытаний от одной исследуемой системы к другой.

Исследования влияния качества зерновых смесей (по признакам их стекловидности и наличия в смесях твердых пшениц) на энергоемкость процесса измельчения производились на лабораторной установке применительно к схеме сортового помола  $15 + 30 + 33\%$ . Для того, чтобы получить сопоставимые результаты, исключалось влияние побочных факторов и исследования проводились при следующих условиях:

1) кинематические и геометрические параметры каждой отдельно взятой пары валков оставались неизменными;

2) исследования производились при постоянных во всех случаях выводах муки, удовлетворяющей стандартам по крупноте и качеству (зольность, клейковина);

3) исследования производились при постоянных зазорах между валками для каждой драной и размольной системы при постоянных величинах питающих валки щелей и при постоянном направлении струи зерна или его продуктов на мелющие валки.

Получение необходимых выходов продукции при разном качестве зерновой смеси производилось за счет изменения длины вальцевой линии. Помол прекращался на том количестве систем, при котором обеспечивался необходимый заданный выход продукции.

При каждом помоле определялись:

1) выход крупно-дунстовых продуктов на первых 3-х—4-х драных системах;

2) выход муки по сортам;

3) крупность, зольность муки, количество и качество клейковины;

4) энергетические показатели.

Поскольку энергоемкость процесса измельчения зерна и его продуктов связана с дисперсностью конечного продукта—муки, мы задались целью подыскать методы определения дисперсности муки и промежуточных продуктов измельчения.

Для определения дисперсности муки был применен пневматический поверхностемер, построенный на принципе изменения скорости просасывания воздуха через слой муки известной толщины и поперечного сечения в зависимости от величины удельной поверхности муки.

Для определения удельной поверхности зерна и промежуточных продуктов измельчения был сконструирован специальный лабораторный рассевок с набором из 12 сит в комплекте, позволявший одновременно вести просеивание на трех комплектах сит. С помощью указанного рассевка продукты измельчения можно было делить на классы крупности и определить их удельные поверхности.

Энергоемкость процесса измельчения определялась обычными методами электрических измерений мощности и энергии, с помощью прецизионных приборов, предварительно про-

веренных лабораторией палаты мер и измерительных приборов. К. п. д. каждого электродвигателя определялся графо-расчетным методом по данным опытов холостого хода и короткого замыкания.

### III. Результаты исследования влияния режимов извлечений на энергоемкость процесса измельчения по отдельным операциям

После математической обработки результатов измерений оказалось, что функциональная зависимость между удельной величиной полезной мощности и извлечением с достаточной степенью точности для вальцевых станков всех дра-ных и размольных систем может быть выражена общей экспериментальной формулой:

$$P_m = \frac{A}{a - \lg \Delta u}, \quad (1)$$

где

$P_m$  — удельная полезная мощность в  $\frac{\text{квт}}{\text{м}}$ ,

$\Delta u$  — величина извлечения на исследуемой паре вал-ков в %,

$A$  и  $a$  — коэффициенты, зависящие от качественных пока-зателей измельчаемого зерна, от удельных нагрузок и от кинематических и геометрических параметров станка.

Как явствует из кривых  $P_m = f(\Delta u)$  для 1-й драной системы с повышением величины извлечения ( $\Delta u$ ), удельная величина полезной мощности ( $P_m$ ) возрастает, а в диапазоне извлечений  $\Delta u = 10 - 55\%$  изменение происходит по закону близкому к прямой линии.

При одном и том же извлечении чем выше удельная нагрузка, тем больше величина требующейся полезной мощности. Отсюда следует, что при „низких“ режимах извле-чений и высоких удельных нагрузках для станков 1-й дра-ной системы требуется весьма значительная мощность (15—20 квт/м).

<sup>1</sup> Наши результаты совпадают с выводами, полученными канд. техн. наук С. С. Суворовым, на основе материалов испытаний „Промзерно-проекта“ (проведенных в Ленинграде в 1940 г.) и ВНИИЗа.

Такая же общая закономерность наблюдается на станках 2-й драной системы, на станках 1-й размольной системы и на станках других систем.

Для каждой вальцевой системы кривые  $P_m = f(\Delta u)$  имеют различие лишь в коэффициентах  $A$  и  $a$ .

Чем выше порядковый номер вальцевой системы, тем круче поднимаются кривые (при сравнении их для относительно близких нагрузок); чем тоньше поступаемый на систему продукт и, соответственно, меньше зазор между валками, тем больше (при одном и том же проценте извлечения и удельной нагрузке) энергоемкость процесса измельчения.

Указанное обстоятельство с физической точки зрения может быть объяснено одновременным действием двух причин:

1) по мере приближения к вымольным системам растет количество оболочек в измельчаемых продуктах; как явствует из исследований проф. В. Я. Гиршсона (которые нами будут использованы в дальнейшем при сравнении усилий, разрушающих оболочки и эндосперм твердых, мягких—стекловидных и мучнистых пшениц), оболочки, подвергающиеся в рабочей зоне вальцевого станка разрывающим усилиям, имеют сопротивления разрыву для мягких стекловидных пшениц — при разрыве вдоль зерна —  $216—260 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$  (в зависимости от влажности) и при разрыве поперек зерна —  $107—173 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ , в то время как эндосперм мягкой стекловидной пшеницы из всех видов сопротивления (растяжение, сжатие, резание) имеет максимальное сопротивление при сжатии, равное  $46 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ; поэтому величина мощности, требуемая на измельчение продуктов, содержащих значительное количество оболочек (т. е. более отрубянистых), будет выше, нежели продуктов, от них свободных;

2) степень заполнения объема зоны измельчения вальцевого станка, по мере приближения от первых вальцевых систем к вымольным, увеличивается от 0,15 до 0,8, следовательно, для измельчения продуктов на средних и последних системах требуется большее давление на валки, нежели на первых, в связи с чем энергоемкость процесса повышается.

Из сопоставления результатов исследования в лабораторных и производственных условиях следует:

а) кривые  $P_m = f(\Delta u)$  для лабораторных и производственных условий имеют одинаковую форму;

б) значения удельной величины полезной мощности ( $P_m$ ) для одних и тех же извлечений ( $\Delta u$ ), полученные в лабораторных условиях, относительно близки к значениям, полученным в производственных условиях;

в) несколько повышенные значения  $P_m$  при одних и тех же значениях  $\Delta u$  для производственных условий по сравнению с лабораторными объясняются большей величиной переменной составляющей механических потерь (в подшипниках, зубчатых передачах) в производственном вальцевом станке, нежели в лабораторном.

Абсолютная величина мощности еще не дает представления об эффективности процесса измельчения с энергетической точки зрения.

Под эффективностью использования мощности мы будем понимать удельную величину полезной мощности, приходящуюся на 1% извлечения  $\left(\frac{P_m}{\Delta u}\right)$ .

Для различных значений извлечения эта величина будет величиной переменной.

Наивыгоднейший режим работы с энергетической точки зрения будет при наименьшей величине удельной величины мощности, приходящейся на 1% извлечения, т. е. при

$$\frac{P_m}{\Delta u} = \text{минимум.}$$

Условие минимума будет при:

$$\lg \Delta u = a - \lg e. \quad (2)$$

Из уравнения (2) могут быть определены величины извлечений, при которых использование мощности будет оптимальным.

В табл. 1 приведены значения  $\Delta u_{\text{опт.}}$  для трех драных и трех размольных систем при сортовых помолах пшеницы 15+30+33% и 45+33% при южном зерне IV типа, 2-й группы стекловидности.

Если установить режимы извлечения вальцевых станков равными  $\Delta u_{\text{опт.}}$ , то при указанных в табл. 1 удельных нагрузках (при указанных выше помолах и качестве зерна), затрачиваемая на измельчение полезная мощность, а при постоян-

1-я драная система		2-я драная система		6-я драная система		1-я размольная система		5-я размольная система		12-я размольная система	
удельная нагрузка на станок, $q \frac{\text{кг}}{\text{см. с.}}$	оптимальное извлечение $\Delta U_{\text{опт.}} \%$	удельная нагрузка на станок, $q \frac{\text{кг}}{\text{см. с.}}$	оптимальное извлечение $\Delta U_{\text{опт.}} \%$	удельная нагрузка на станок, $q \frac{\text{кг}}{\text{см. с.}}$	оптимальное извлечение $\Delta U_{\text{опт.}} \%$	удельная нагрузка на станок, $q \frac{\text{кг}}{\text{см. с.}}$	оптимальное извлечение $\Delta U_{\text{опт.}} \%$	удельная нагрузка на станок, $q \frac{\text{кг}}{\text{см. с.}}$	оптимальное извлечение $\Delta U_{\text{опт.}} \%$	удельная нагрузка на станок, $q \frac{\text{кг}}{\text{см. с.}}$	оптимальное извлечение $\Delta U_{\text{опт.}} \%$
1350	14,0	916	26,4	219	8,2	328	19,6	250	15,5	170	11,0
1300	22										
1200	33	645	31,0	175	14,6	250	23,0	220	15,2	138	12,0
933	65,5										
651	74	541	25,3	124	19,7	190	36,7	172	18,0	110	13,4

ной производительности ( $Q$ ) и удельные расходы полезной энергии ( $W_m$ ) будут наименьшими (так как  $W_m = \frac{24 \cdot P_m}{Q} = C \cdot P_m$ , где  $Q$  — суточная производительность станка).

Справедливость указанного имеет практическое подтверждение.

В 1-м квартале 1953 г. на Ленинградском мелькомбинате им. С. М. Кирова были перестроены режимы измельчения в направлении приближения к  $\Delta u_{\text{опт.}}$ , в результате чего удельные расходы энергии снизились с  $73 \frac{\text{кВтч}}{\text{т}}$  до  $68 \frac{\text{кВтч}}{\text{т}}$

и оказалось возможным поднять производительность предприятия без значительного увеличения установленной мощности.

В результате многочисленных экспериментов, проведенных нами на всех драных и основных размольных системах, был установлен для них общий прямолинейный характер зависимости между вновь образованной удельной поверхностью и удельными расходами полезной энергии.

Эта зависимость может быть выражена уравнением вида:

$$W_m = K \Delta S + C. \quad (3)$$

Здесь  $K \Delta S$  представляет величину, характеризующую затрату энергии на приращение новых поверхностей, а  $C$  есть

коэффициент, характеризующий затрату энергии на упругие и пластические деформации в продуктах и трение продуктов о валки и между собой.

Изложенное выше подтверждает положения, высказанные Г. Г. Егоровым в отношении минералов и заключающиеся в том, что работа при дроблении, несмотря на наличие упругих и пластических деформаций, изменяется, в зависимости от вновь образованной поверхности, по закону прямой линии.

Результаты нашего исследования также вполне согласуются с выводами канд. техн. наук С. Д. Хусида, полученными в результате проведенных им исследований путем сравнения дисперсности муки на вальцевой и молотковой мельницах.

#### IV. Результаты исследования влияния качественных показателей на энергоемкость процессов дранья и размола по признакам стекловидности зерновой массы и содержания в последней твердых пшениц

Соотношение между удельными расходами энергии при размоле зерновых смесей разного качества для мельниц с централизованным или крупногрупповым приводом может быть выражено следующим образом:

$$K_{w_{гр.}} = \frac{A_w + W_m''}{A_w + W_m'}, \quad (4)$$

где:

$A_w$  — удельные потери энергии на холостой ход технологического оборудования и потери в двигателе,

$W_m'$  — удельный расход энергии на технологический процесс при одном качестве зерновой смеси;

$W_m''$  — удельный расход энергии на технологический процесс при другом качестве зерновой смеси.

Соотношение между удельными расходами энергии при размоле зерновых смесей разного качества для мельниц с индивидуальным приводом можно выразить следующей достаточной для практических целей формулой:

$$K_{\omega_{\text{инд.}}} = \frac{W_m'' + \frac{66n}{Q}}{W_m' + \frac{66n}{Q}}, \quad (5)$$

где:

$W_m'$  — удельный расход энергии в квтч/т на технологический процесс при одном качестве зерновой смеси;

$W_m''$  — удельный расход энергии в квтч/т на технологический процесс при другом качестве зерновой смеси;

$n$  — число пар валков (или число электродвигателей);

$Q$  — суточная производительность мельницы в тоннах.

Результаты исследования, проведенного на лабораторной установке, показывают, что увеличение примесей твердых пшениц вызывает значительное повышение удельных расходов энергии на размольный процесс.

Более значительное влияние примесей твердых пшениц на энергоемкость размольного процесса по сравнению с драным процессом имеет следующее физическое объяснение.

В драном процессе, целью которого, как известно, является максимальное извлечение из зерна крупы и дунстов, отделяемых от оболочек, весьма существенную роль играют сами оболочки. Различия же в усилиях, разрывающих оболочку зерна твердой и мягкой пшеницы для продольного и поперечного разрывов, имеют по сравнению с различиями в усилиях, требующихся на разрушение эндосперма твердых и мягких пшениц, относительно небольшие колебания (20—59%). Повышение вязкости оболочек вследствие их увлажнения в процессе подготовки зерна к помолу несколько сглаживает разницу в удельных расходах энергии в драном процессе при размолке мягких и твердых пшениц. Следует учесть также и то обстоятельство, что на драных системах при размолке твердых пшениц получается более крупное дробление (с преобладанием, главным образом, крупной и средней крупы), нежели при размолке мягких пшениц с относительно мелкими крупно-дунстовыми продуктами и мукой. Указанное обстоятельство также сглаживает колебания удельных расходов энергии при размолке мягких и твердых пшениц, ибо более тонкое дробление требует повышения удельных расходов энергии и мощности.

Различия в усилиях, требующихся на разрушение эндосперма при сжатии, срезе и скалывании для мягких и твердых пшениц, колеблются в пределах от 100 до 300%.

Поэтому наличие твердого эндосперма, измельчаемого в размольном процессе, является определяющим фактором изменений удельных расходов энергии в зависимости от процентного содержания в зерновой смеси твердых пшениц.

После подстановки полученных в результате экспериментального исследования данных в формулы (4) и (5) можно определить поправочные коэффициенты на энергоемкость (см. табл. 2) при переходе от одного качества зерновой смеси к другому, в зависимости от процентного содержания твердых пшениц.

Данные, полученные нами на лабораторной установке для мельниц с централизованным или крупногрупповым приводом, близки к данным, полученным канд. техн. наук А. С. Данилиным при испытаниях, проведенных им на мелькомбинате им. А. Д. Цюрупы в Москве.

Однако сопоставление энергоемкости процесса переработки зерна без учета такого важного фактора, как дисперсность полученной муки, было бы неточным.

Таблица 2

% примесей твердых пше- ниц	$K_w$ — коэффициент увеличения удель- ного полезного расхода энергии	$K_{w_{гр}}$ — коэффициент увеличения удельно- го расхода энергии на мельницах с цен- трализованным или крупногрупповым приводом	$K_{w_{и}}$ — коэффициент увеличения удельно- го расхода энергии на мельнице с инди- видуальным приводом
0	1,	1,	1
10	1,165	1,08	1,13
20	1,380	1,19	1,30
30	1,492	1,247	1,39
40	1,580	1,290	1,45
100	1,895	1,450	1,71

По указанному выше методу была определена средне-взвешенная дисперсность муки и скорректированы удельные расходы полезной энергии и средняя удельная полезная мощность при размоле зерновой смеси с разным процентным содержанием твердых пшениц.

Соответствующим образом были скорректированы и поправочные коэффициенты (см. табл. 3).

Таблица 3

% примесей твердых пше- ниц	Скорректирован- ные по дисперс- ности муки удель- ные расходы по- лезной энергии в кВтч/т	Поправочный коэф- фициент $K_{w_{гр}}$ к уд. расходам энергии для мельниц с централиз. и крупногруппов. приводом	Поправочный коэф- фициент $K_{w_{и}}$ к удель- ным расходам энергии для мельницы с инди- видуальным приводом
0	38,52	1	1
10	43,8	1,07	1,11
20	56,5	1,235	1,57
30	62,8	1,315	1,495
40	78,2	1,515	1,815
100	96,0	1,75	2,18

Исследование, проведенное с целью изучения влияния стекловидности зерновой массы на энергоемкость процесса измельчения по отдельным этапам технологического процесса и в целом, показывает, что:

а) потребляемая полезная мощность и удельный расход полезной энергии с повышением стекловидности зерновой массы возрастают;

б) на драных системах с повышением стекловидности удельная величина полезной энергии и мощность почти не изменяются;

в) на размольных системах при повышении стекловидности зерновой массы удельный расход полезной энергии и полезная мощность возрастают;

г) характер кривой суммарного расхода энергии в зависимости от стекловидности зерновой массы определяется размольным процессом. Последнее обстоятельство имеет следующее физическое объяснение.

В драном процессе, основной целью которого, как известно, является получение крупок, весьма существенную роль играют оболочки, сопротивление которых в основном и определяет энергоемкость этого процесса. Сопротивление оболочек исследуемой нами пшеницы, произрастающей в одной климатической и почвенной зоне, было относительно стабильным. При измельчении смесей с большей стекловидностью на драных системах имело место более крупное

дробление (с преобладанием, главным образом, крупной и средней крупы), нежели в смесях с меньшим содержанием стекловидных зерен. А это обстоятельство вызывало некоторое снижение удельного расхода энергии и мощности. В то же время дробление зерновых масс с большим содержанием стекловидных зерен требовало повышения удельного расхода энергии и мощности. В результате одновременного действия указанных причин удельная величина полезной энергии и мощность при повышении стекловидности в драном процессе оставались постоянными.

На размольных системах основное, решающее влияние оказывало качество эндосперма, вследствие чего с повышением стекловидности удельный расход энергии и мощность возрастают. Различия в усилиях, требующихся на разрушение эндосперма при сжатии, срезе и скалывании для стекловидных и мучнистых пшениц имеют колебания в пределах от 100 до 250%.

В приводимой ниже табл. 4 даны поправочные коэффициенты на энергоемкость процесса измельчения, скорректированные по дисперсности муки.

Таблица 4

% стекловидности	Скорректированные по дисперсности муки удельные расходы полезной энергии в квтч/т	Поправочный коэффициент $K_{\omega_{гр}}$ к удельн. расходам энергии для мельниц с крупногрупповым приводом	Поправочный коэффициент $K_{\omega_{и}}$ к удельным расходам энергии для мельницы с индивидуальным приводом
33	38,51	1	1
50	45,28	1,09	1,137
64	49,47	1,145	1,225

#### V. Энергоемкость процесса измельчения при централизованном и индивидуальном приводе

Удельный расход энергии на измельчение при хорошем трансмиссионном хозяйстве и хорошем состоянии оборудования<sup>1</sup> в зависимости от производительности мельницы для

<sup>1</sup> Под хорошим состоянием оборудования подразумевается такое его состояние, при котором потери холостого хода, включая потери в трансмиссиях, составляют 22—27% от потребляемой мощности при полной нагрузке.

централизованного или крупногруппового привода может быть выражен следующим образом:

$$W_{\text{гр.}} = \frac{35,4 \sum_{m=1}^n P_m}{Q}, \quad (6)$$

где:  $P_m$  — удельная полезная мощность пары валков в квт,  
 $Q$  — суточная производительность мельницы в тоннах.

Удельный расход энергии на измельчение при хорошем состоянии оборудования в зависимости от производительности мельницы для индивидуального привода можно выразить следующим образом:

$$W_{\text{инд.}} = \frac{31,7 \sum_{m=1}^n P_m}{Q}, \quad (7)$$

где:  $P_m$  — удельная полезная мощность пары валков в квт,  
 $Q$  — суточная производительность мельницы в тоннах.

Соотношение между удельными расходами энергии на измельчение при централизованном и индивидуальном приводе будет:

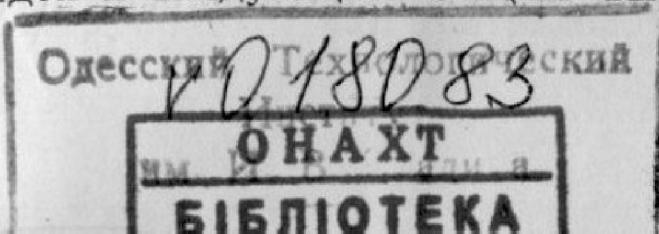
$$\frac{W_{\text{гр.}}}{W_{\text{инд.}}} = 1,12. \quad (8)$$

### Общие выводы

По разделу „Влияние режимов извлечения на энергоемкость процесса измельчения“ нами были проведены исследования на всех драных системах и на основных размольных системах (размол крупок 1-го качества, размол крупок 2-го качества, вымол, размол сходовых продуктов, шлифовка крупок) с проверкой полученных результатов в производственных условиях. На основании анализа материалов исследования по каждой системе нами были сделаны частные выводы.

По разделу „Влияние качественных показателей зерновых смесей на энергоемкость процесса измельчения“ были проведены лабораторные исследования, которые сравнивались с результатами, полученными в производственных условиях.

В результате сопоставления ряда частных выводов по разделам можно придти к следующим общим выводам нашего исследования.



1. Удельная величина полезной мощности с повышением величины извлечения при одной и той же удельной нагрузке возрастает по плавным кривым.

2. Функциональная зависимость между удельной полезной мощностью ( $P_m$ ) и извлечением на системе ( $\Delta u$ ) может быть представлена с достаточной степенью точности для всех драных и размольных систем общей формулой:

$$P_m = \frac{A}{a - \lg \Delta u},$$

где  $A$  и  $a$  — коэффициенты, зависящие от удельных нагрузок, качественных показателей измельчаемой зерновой массы и от кинематических и геометрических параметров станка. Для различных драных и размольных систем (и в пределах одной системы, но для различных удельных нагрузок на вальцевую линию) функциональная зависимость будет отличаться лишь величиной коэффициентов  $A$  и  $a$ .

3. По мере увеличения порядкового номера вальцевой системы крутизна кривых  $P_m = f(\Delta u)$  (при сравнении их для относительно близких удельных нагрузок) — возрастает.

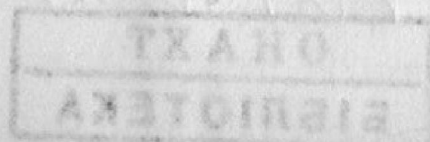
Чем тоньше поступаемый на систему продукт и, соответственно, меньше зазор между валками, тем больше (при одном и том же проценте измельчения и удельной нагрузке) энергоемкость процесса измельчения.

4. При одной и той же степени измельчения (при одном и том же извлечении [ $\Delta u$ ]), чем больше удельные нагрузки, тем выше величина требующейся удельной полезной мощности.

Величина удельной нагрузки является одним из крупных определяющих энергоемкость факторов.

На драных системах, начиная с 3-й драной, по мере приближения к вымольным системам, требуемая удельная мощность растет интенсивнее удельных нагрузок, причем интенсивность роста удельной мощности по направлению к вымолу возрастает. На размольных системах, измельчающих крупки 2-го качества, требуемая удельная полезная мощность (при одних и тех же удельных нагрузках [ $q$ ] и величинах извлечений [ $\Delta u$ ]) выше, чем на первых размольных системах.

5. Для каждой удельной нагрузки ( $q$ ) существует такая величина извлечения ( $\Delta u$ ), при которой эффективность использования мощности будет оптимальной ( $\frac{P_m}{\Delta u} = \text{минимум}$ ).



6. Энергоемкость процесса измельчения для вальцевых систем в зависимости от вновь образованной поверхности измельченных продуктов изменяется по закону прямой линии и может быть выражена уравнением  $W = k\Delta S + C$ , где  $C$  — коэффициент, характеризующий затраты энергии на упругие и пластические деформации в продуктах и трение продуктов о валки и между собой.

7. При централизованном или крупногрупповом приводе на одной и той же мельнице, при одном и том же помоле и одном и том же качестве поступающего в размол зерна потребляемая мощность и удельный расход энергии будут на 12% больше, чем при индивидуальном приводе.

8. Качество зерна по признакам наличия твердых пшениц в зерновой смеси и стекловидности последней оказывает весьма существенное влияние на энергоемкость процесса измельчения.

9. При смешивании твердых пшениц с мягкими в количестве от 0% до 40—50% твердых наблюдается особенно интенсивное повышение удельного расхода полезной энергии и мощности; при добавлении твердых пшениц в количестве, превышающем 40—50%, наступает как бы „насыщение“, и энергоемкость процесса измельчения при дальнейшем увеличении твердых пшениц возрастает незначительно.

Указанное обстоятельство находит свое объяснение в слишком большой разнице в сопротивлениях измельчению для твердых и мягких пшениц. Поэтому твердые пшеницы, примешиваемые к мягким уже в количествах 40—50%, являются определяющими энергоемкость процесса измельчения.

10. Самое интенсивное повышение энергоемкости процесса измельчения наблюдается при добавлении твердых пшениц к мягким в пределах от 20% до 40%, поэтому подсортировать твердые пшеницы свыше 20% с энергетической точки зрения нецелесообразно.

11. Энергоемкость драного процесса в зависимости от повышения примесей твердых пшениц в зерновой смеси и ее стекловидности почти не изменяется (или изменяется весьма незначительно).

12. Изменение энергоемкости в зависимости от увеличения примесей твердых пшениц в зерновой смеси и стекловидности последней определяется размольным процессом.

13. Существенные изменения качества зерновой смеси (напр., при наличии примесей твердых пшениц в пределах 10—30%) для крупногруппового или централизованного при-

вода не вызывают необходимости увеличивать установленную мощность двигателей; как подтверждает практика, в ряде случаев путем устройства принудительного охлаждения двигателя удастся повысить его мощность до нужных пределов. Для индивидуального привода требуется повышение установленной мощности (например, при наличии примесей твердых пшениц в 20% средняя удельная мощность повышается на 24,4%), что вызывает необходимость замены большего числа установленных электродвигателей.

### Рекомендации и предложения

1. При проектировании технологических схем и балансов помола необходимо иметь в виду в числе прочих показателей эффективность использования мощности, учитывая ее оптимумы; составление энергетического баланса мощности при проектировании технологической схемы должно быть обязательным.

2. При проектировании индивидуального привода к вальцевым станкам для выбора мощности электродвигателей при сортовых помолах 15+30+33% и 45+33% при переработке южных пшениц IV типа 2-й группы стекловидности мы рекомендуем пользоваться составленными нами диаграммами при следующей методике:

а) по проектируемой технологической схеме и балансу помола для каждой вальцевой системы определяются удельные нагрузки и режимы извлечения;

б) по диаграммам, в соответствии с заданными удельными нагрузками и режимами извлечений, определяется необходимая полезная удельная мощность для каждой драной и размольной системы (размольные системы по энергоемкости процесса измельчения можно разделить на 4 категории: размол крупок 1-го качества, размол крупок 2-го качества, сходовые системы, вымол);

в) путем умножения удельной мощности на длину валка определяется полезная мощность пары валков;

г) к полезной мощности, потребной для пары валков, прибавляются постоянные потери (на холостой ход станка и двигателя), которые на основании приведенных нами многочисленных испытаний в производственных условиях в среднем можно принять равными одному киловатту;

д) по каталогу подбирают больший по мощности серийный электродвигатель.

3. Для составления удельных норм расхода энергии на процесс измельчения при сортовых помолах 15+30+33% и

45+33% и при переработке указанного в пункте 2-м зерна мы рекомендуем следующую методику:

а) по балансу помола определяются удельные нагрузки и режимы извлечений по каждой вальцевой системе;

б) по диаграммам для каждой вальцевой системы определяется удельная полезная мощность;

в) по выведенным нами формулами [(6) и (7)] определяется величина удельного расхода энергии на процесс измельчения в зависимости от типа привода.

4. При нормировании удельных расходов энергии и при определении потребной мощности следует всегда учитывать качественные показатели зерновых смесей.

5. При переходе от одного качества зерновой смеси к другому (по признакам примесей твердых пшениц и стекловидности) для составления удельных норм расхода энергии и сопоставления энергетических показателей рекомендуется пользоваться коэффициентами, указанными в приведенных нами таблицах.

6. При настройке автоматизированного индивидуального электропривода вальцевых станков для вышеуказанных помолов и качества зерна можно воспользоваться установленными нами функциональными зависимостями между удельной полезной мощностью, извлечением и удельными нагрузками.

---