

УДК 664.664.33

*В. Г. ХАРКЕВИЧ, В. А. ШУЛЯК*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ВЫСУШЕННЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПАНИРОВОЧНЫХ СУХАРЕЙ**

*Могилевский государственный университет продовольствия*

*(Поступила в редакцию 11.09.2007)*

**Введение.** В настоящее время в среднем от 1 до 9% хлебобулочных изделий подвергается вторичной переработке вследствие технологического брака или возврата предприятий торговли. Часть белого хлеба и булок досушивается и измельчается в панировочные сухари, востребованные как промышленными предприятиями, так и рядовыми потребителями. Продукты переработки высушенных черствых хлебобулочных изделий широко используют в производстве панировочных сухарей, в приготовлении теста для выпечки нового хлеба (с использованием черствого хлеба до 5% к общей массе теста), а также при создании новых видов хлебных полноценных изделий, отвечающих современным требованиям гигиены питания.

На хлебозаводах одним из основных видов переработки хлебобулочных изделий является производство панировочных сухарей.

Сегодня весьма актуальным является вопрос энергосбережения в сочетании с высоким качеством готового продукта. В частности, в производстве панировочных сухарей при измельчении получают полидисперсный материал (сухарную крошку) с широким разбросом частиц по диаметру. Технологический регламент и ГОСТ [1] требуют получения готового продукта (панировочных сухарей) со строго заданным фракционным составом. Остаток для панировочных сухарей из хлеба высшего, первого и второго сорта на сите № 1,2 должен составлять не более 5,0% при массовой доле влаги не более 10,0%. Обычно на хлебозаводах панировочные сухари получают путем измельчения высушенного черствого белого хлеба и просеивания их через сито, однако не всегда выход готового продукта после измельчения по своему дисперсному составу удовлетворяет предъявляемым к нему технологическим требованиям.

В предыдущих наших работах, выполненных в лабораторных условиях Могилевского государственного университета продовольствия, отражены результаты целого комплекса исследований физико-механических свойств высушенных хлебобулочных изделий, подвергаемых разрушению при статическом нагружении, и подробно рассмотрены приборы и методика проведения эксперимента [2, 3]. Также проведено обобщение экспериментальных данных по пределу прочности и величине предельной деформации при статическом сжатии образцов белого и черного хлеба [4], при помощи которых была установлена взаимная зависимость прочностных и физико-химических свойств материала. Проведено сравнение экспериментальных и расчетных значений и получены новые аппроксимационные зависимости пределов прочности и деформации от влажности, вида и сорта высушенных хлебобулочных изделий [4, 5].

Результаты проведенных исследований были использованы при расчете ударного усилия на концах бил [6] и проектировании новой конструкции измельчителя хлеба «ИХ-500» для панировочных сухарей [7, 8].

В данной работе представлены результаты исследования в реальных заводских условиях промышленного образца. Эксперименты, связанные с изучением процесса измельчения, проводили в 2005–2007 гг. на внедренном в промышленную практику измельчителе хлеба «ИХ-500» на РУПП «Могилевхлебпром» в цехе по производству панировочных сухарей.

На начальном этапе проводили эксперименты по отладке оборудования и проведению предварительных приемочных испытаний в производственных условиях. Далее следовал ряд комплексных экспериментов, связанных с исследованием и определением основных технологических параметров измельчителя и их взаимовлиянием друг на друга.

Изучение процесса измельчения и определение оптимальных параметров работы оборудования проводили на измельчителе хлеба «ИХ-500», который был изготовлен по нашему патенту Российской Федерации [9] в ремонтно-механическом цехе РУПП «Могилевхлебпром» по чертежам, разработанным в Могилевском государственном университете продовольствия.

Измельчитель имеет ряд оригинальных конструктивных особенностей, обеспечивающих длительную и надежную работу: удобство загрузки и разгрузки, отсутствие вибраций и минимальный уровень шума. Все элементы, находящиеся в контакте с пищевым продуктом, выполнены из нержавеющей стали и по сравнению с аналогами обладают большей долговечностью.

Измельчитель работает следующим образом (рис. 1): вращающий момент передают на вертикальный ротор с закрепленными на нем ударными элементами 5 через привод, состоящий из электродвигателя 8 и ременной передачи 9. Через загрузочный лоток 1 подают обрабатываемый материал, который попадает на грубое предварительное измельчение в верхних рядах ударных элементов 5. Далее частично измельченный продукт под действием гравитационных сил попадает под воздействие ударных элементов 5 последующих рядов. Переработанный продукт, пройдя последовательно все уровни измельчения, продвигается к выгрузной воронке 3. Ударные элементы 5 представляют собой набор шарнирно соединенных пластин различной толщины, что предотвращает жесткое заклинивание измельчаемого материала между концами ударных элементов 5 и стенкой рабочей камеры 4. Для достижения более качественного результата измельчения размер и масса ударных элементов 5 согласовываются с массой и размером измельчаемого куска, поэтому по мере измельчения исходного куска уменьшается масса ударного элемента 5, а так как количество измельчаемого продукта не изменяется, то по ходу его движения увеличивается количество ударных элементов 5. Установка на роторе дисков 7 и на стенках рабочей камеры 4 отражателей 6 позволяет устранить нежелательный проскок недоизмельченного материала на нижние ряды ударных элементов 5.

Оптимизацию работы измельчителя проводили в диапазоне производительности от 300 до 1200 кг/ч, в зависимости от начальной влажности, сортности перерабатываемых хлебобулочных изделий и с учетом нагрузки на электродвигатель, т. е. его энергопотребления. Начальный размер кусков составлял 250×110×65 мм при массе 270 г. Производительность определяли в зависимости от скорости движения ленты транспортера, количества и массы подаваемого продукта за

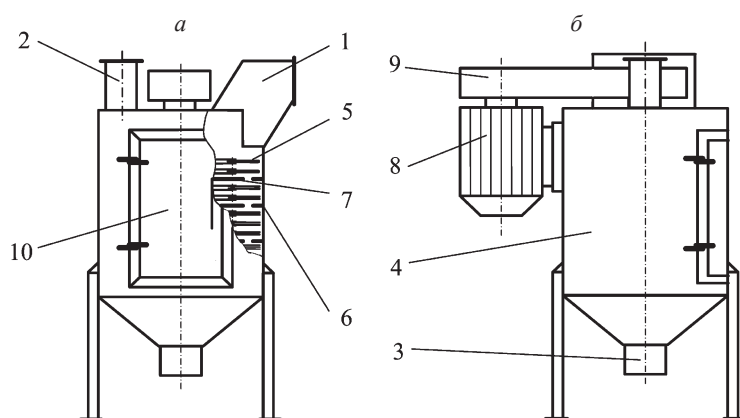


Рис. 1. Измельчитель «ИХ-500»: 1 – загрузочный лоток; 2 – патрубок для аспирации пылевидной фракции; 3 – выгрузная воронка; 4 – рабочая камера; 5 – била; 6 – отражатели; 7 – диски; 8 – электродвигатель; 9 – ременная передача; 10 – открывающаяся дверца для быстрого доступа внутрь корпуса; а – вид прямо, б – вид сбоку

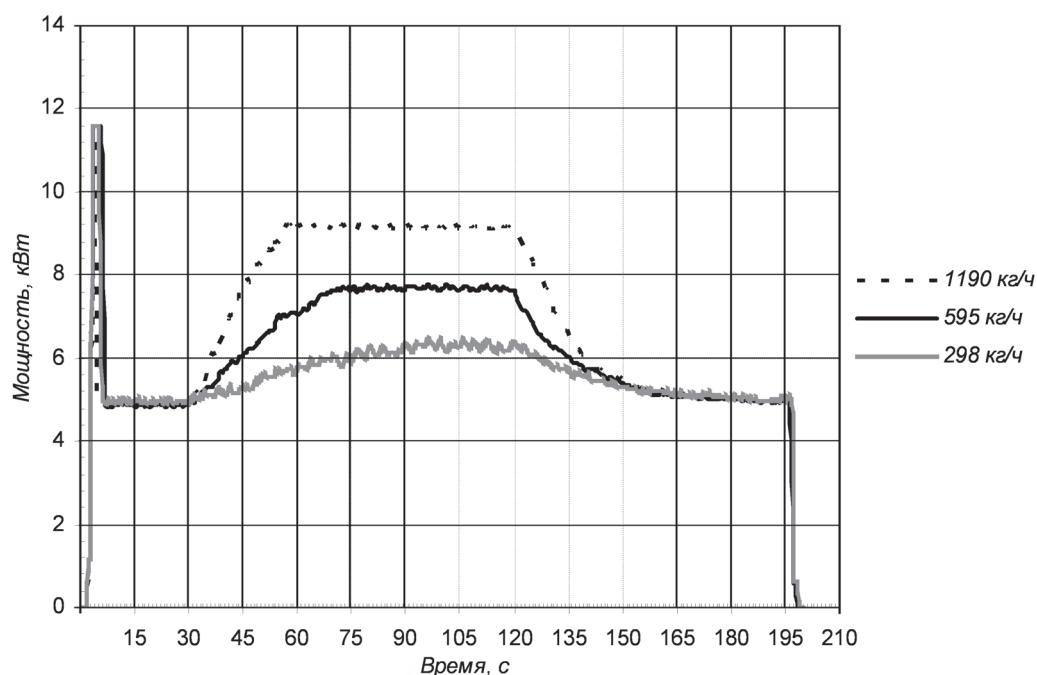


Рис. 2. Экспериментальные кривые потребляемой мощности, полученные при различной производительности измельчителя «ИХ-500»

определенный промежуток времени. Действительное потребление электроэнергии (рис. 2) в течение всего процесса измельчения определяли при помощи современного цифрового мультиметра АРРА-109N, обладающего функцией цифрового регистратора.

Анализ результатов исследований показал, что для данного типа измельчителя (при влажности исходного продукта до 10%) величина оптимальной производительности находится в пределах 500–600 кг/ч (рис. 2), при этом готовый продукт полностью соответствует требованиям ГОСТ 28402–89 [1]. При производительности 1190 кг/ч наблюдается превышение номинальной потребляемой мощности электродвигателя, что приводит к его перегрузкам. При производительности 298 кг/ч величина потребляемой мощности составляет 6 кВт, т. е. 75% от номинала. В номинальном режиме двукратное повышение производительности до 600 кг/ч достигается за счет 25%-ного повышения потребляемой мощности (8 кВт), при этом электродвигатель работает в паспортном режиме.

Для анализа взаимовлияния различных параметров на качество процесса измельчения проводился комплексный эксперимент с одной и той же партией продукта с фиксированием нескольких параметров одновременно. Для оценки качества измельчения в процессе работы определяли гранулометрический состав измельченного продукта методом ситового анализа, по результатам которого были построены дифференциальные кривые распределения частиц по размерам (рис. 3). Статистическая обработка кривых позволила оценить максимальный размер частиц готового продукта, средний размер фракции, среднеквадратичное отклонение функции распределения частиц по размерам.

Из графика на рис. 3 следует, что с ростом производительности растет доля частиц крупной фракции готового продукта, но в то же время крупность помола соответствует ГОСТ 28402–89 [1].

Крупность помола зависит от многих параметров, в частности, от влажности образцов [10] и производительности измельчителя. На рис. 4 видно, что даже при максимальной производительности измельчителя остаток на сите соответствует требованиям ГОСТ 28402–89 [1].

Для этой же партии продукта исследовали влияние производительности измельчителя на удерживающую способность аппарата по твердой фазе. Было определено количество одновременно находящегося в объеме измельчителя материала и среднее время пребывания измельчаемого продукта в аппарате. Одновременно контролировали начальную и конечную влажность продукта.

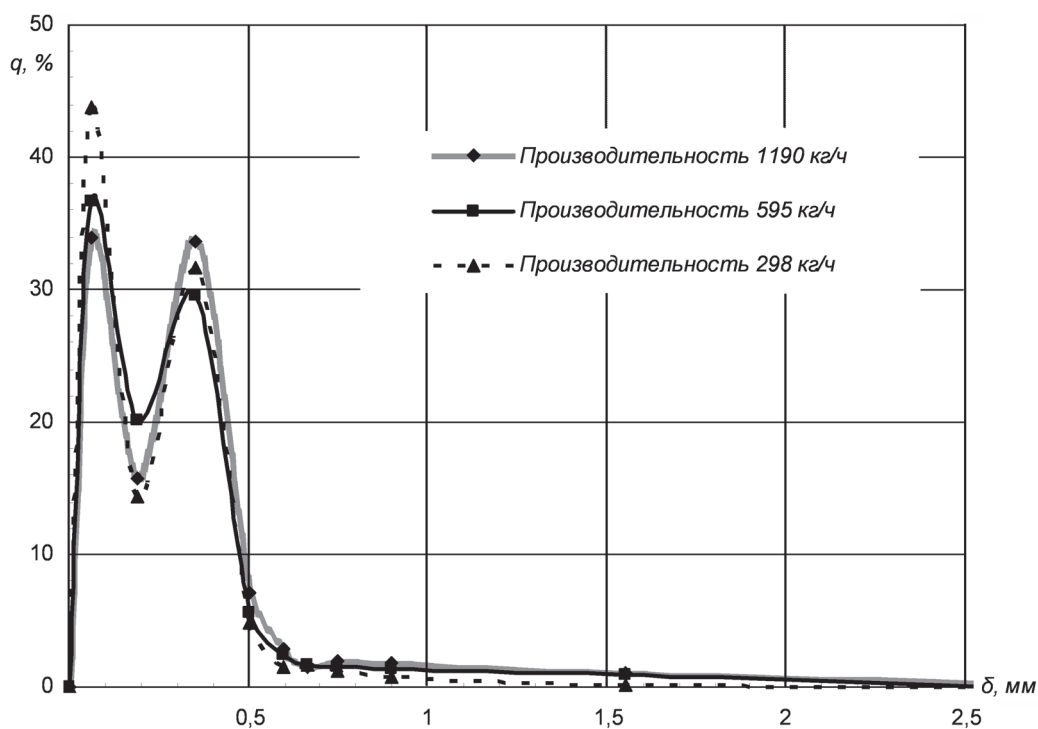


Рис. 3. Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам измельченных черствых хлебулочных изделий с 3%-ной влажностью

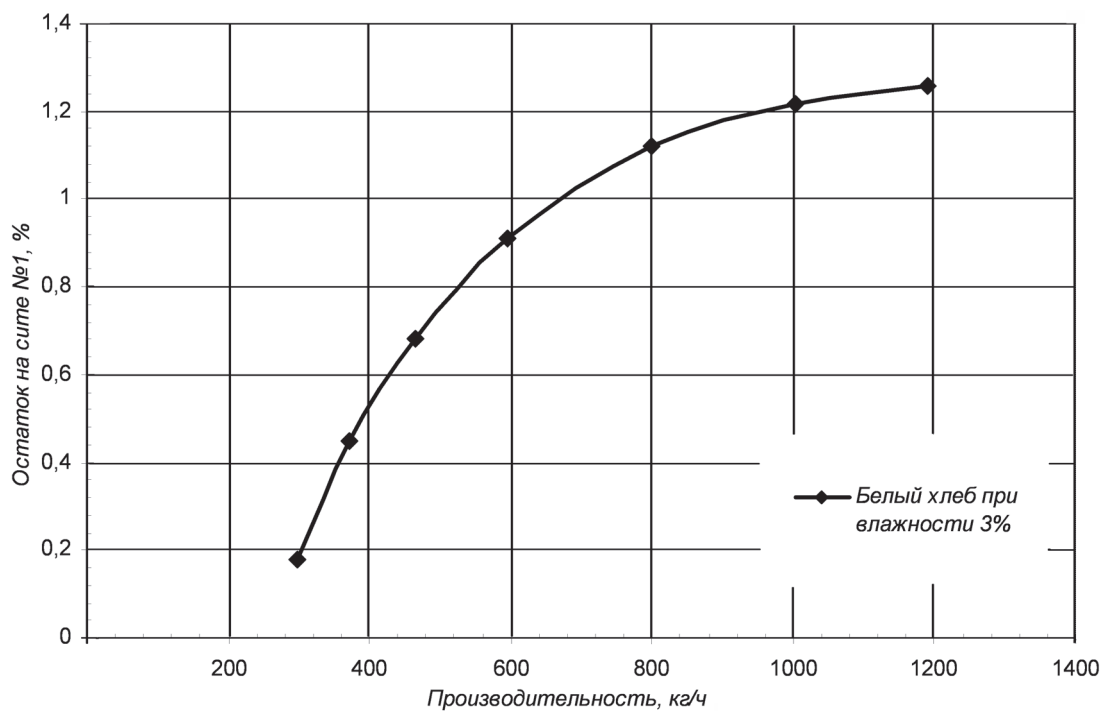


Рис. 4. Зависимость остатка сухой крошки на сите 1 мм от производительности измельчителя

Опыты проводили при постоянной частоте вращения ротора, равной 2880 об/мин. Начальная влажность продукта составила 2,06%. Производительность измельчителя регулировали путем изменения количества материала на одном погонном метре конвейера. Удерживающую способность определяли путем мгновенной отсечки (прекращения подачи) продукта и полного сбора его в емкость на выходе из измельчителя после опорожнения рабочей камеры и полной остановки. Собранный продукт взвешивали. Для получения точных и достоверных результатов каждый

опыт повторяли трижды, при каждом эксперименте результаты снимали после выхода измельчителя на установившийся режим работы.

Среднее время пребывания определяли по следующей формуле:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{q}{G},$$

где  $q$  – удерживающая способность, кг;  $G$  – производительность, кг/с.

Конечную влажность измельченного продукта измеряли на электронном анализаторе влажности Sartorius MA 45.

Результаты проведенных экспериментальных исследований представлены в таблице.

**Технологические параметры процесса измельчения**

Вариант опыта	Производительность $G$ , кг/ч (кг/с)	Удерживающая способность $q$ , кг	Среднее время пребывания $\tau_{\text{ср}}$ , с	Конечная влажность $\omega$ , %
I	1190 (0,331)	4,7	14,2	2,48
II	595 (0,165)	3,6	21,8	2,94
III	298 (0,083)	2,5	30,2	3,45

Анализ полученных данных показывает, что удерживающая способность измельчителя растет с увеличением производительности, а среднее время пребывания падает. Интересен еще тот факт, что происходит равномерное увеличение влажности готового продукта с уменьшением производительности. Это можно объяснить тем, что с увеличением среднего времени пребывания продукта растет его удельная поверхность, что приводит к сорбции паров влаги из воздуха, поступающего внутрь измельчителя, и, соответственно, к большему увлажнению.

**Заключение.** Результаты проведенных исследований позволили оптимизировать режимы работы измельчителя для панировочных сухарей в зависимости от производительности и потребляемой мощности аппарата, среднего времени пребывания измельчаемого продукта в аппарате, влажности, сорта и размеров начального куска исходного продукта, а также среднего размера частиц готовой фракции. Полученные результаты дали возможность уточнить методику инженерного расчета оборудования данного типа и наметить механизмы точной ее настройки, в зависимости от технологической задачи измельчения.

Новый измельчитель хлеба «ИХ-500» [7, 8] принят в постоянную эксплуатацию на РУПП «Могилевхлебпром», что подтверждается двумя актами внедрения в производство и тремя актами производственных испытаний. Внедрение измельчителя роторного типа с шарнирно закрепленными на нем ударными элементами позволило сэкономить производственные площади; время, затрачиваемое на производство пищевых порошков с заданным гранулометрическим составом; улучшить условия труда обслуживающего персонала; снизить энергопотребление на единицу произведенной продукции; увеличить коэффициент полезного использования оборудования; расширить технологические возможности и измельчать практически любое хрупкое и вязкопластичное сырье (тмин, кориандр, перец и др.), используемое при изготовлении продукции на пищевых предприятиях.

Годовой экономический эффект от внедрения измельчителя хлеба «ИХ-500» на производстве № 4 РУПП «Могилевхлебпром» взамен устаревшей кормодробилки КДУ-2 составил 92,8 млн руб. в ценах по состоянию на 1 января 2007 г. Срок окупаемости новой техники (при полном использовании годового действительного фонда времени работы машины) составляет чуть более одного месяца.

Благодаря проведенной работе на производстве № 3 РУПП «Могилевхлебпром» был создан отдел и запущена новая линия по производству панировочных сухарей, в состав которой был включен второй экземпляр измельчителя хлеба «ИХ-500».

Готовый продукт (сухари панировочные) на обоих производствах соответствует ГОСТ 28402–89.

## Литература

1. Сухари панировочные. Общие технические условия: ГОСТ 28402–89. Введ. 01.01.91. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1990. 6 с.
2. Харкевич В. Г., Курдюков Н. Н., Шуляк В. А. Приборы и методика проведения исследований свойств высушенного хлеба как объекта измельчения // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы междунар. науч.-тех. конф.: В 3 ч. / Редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]*. Могилев: Бел.-рос. ун-т, 2006. Ч. 1. С. 171–172.
3. Курдюков Н. Н., Харкевич В. Г., Шуляк В. А. Исследования физико-механических свойств высушенных хлебобулочных изделий, используемых в производстве панировочных сухарей // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2006. № 5. С. 20–21.
4. Харкевич В. Г., Шуляк В. А. Обобщение результатов исследований по статическому разрушению хрупких пищевых материалов // *Вестник МГУП*. 2007. № 1. С. 93–99.
5. Харкевич В. Г., Шуляк В. А. Влияние влажности на физико-механические свойства высушенных хлебобулочных изделий // *VIII Всероссийская конференции молодых ученых с международным участием «Пищевые технологии»: Сб. тез. докл., 9–10 апреля 2007, Казань: Отечество, 2007. С. 336.*
6. Харкевич В. Г., Курдюков Н. Н., Шуляк В. А. Определение динамического коэффициента при ударном разрушении хрупких материалов // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы междунар. науч.-тех. конф.: В 3 ч. / Редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]*. Могилев: Бел.-рос. ун-т, 2007. Ч. 1. С. 156–157.
7. Харкевич В. Г. Разработка и исследование новой ресурсосберегающей конструкции дробилки // *Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы респ. науч.-тех. конф.* Могилев: Бел.-рос. ун-т, 2005. С. 75.
8. Харкевич В. Г., Смузенко А. Г. Разработка и исследование оборудования для вторичной переработки хлеба // *Техника и технология пищевых производств: Тез. докл. V Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов, 26–27 апреля 2006 г., Могилев / Редкол.: А. В. Акулич (отв. ред.) [и др.]*. Могилев: УО «МГУП», 2006. С. 5–10.
9. Измельчитель: пат. 2052291 РФ, МПК7 B02 C13/16. / Л. А. Сиваченко, Н. Г. Селезнев, В. А. Шуляк, М. В. Лешева, В. Н. Башаримова; заявитель: Научно-технический кооператив «Млын» – № а 5047857/33; заявл. 15.06.1992 // *Бюл. изобретений*. 1996. № 6.
10. Харкевич В. Г. Влияние влажности исходного сырья на дисперсный состав продуктов помола // *Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы респ. науч.-техн. конф. / Редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]*. Могилев: Бел.-рос. ун-т, 2006. С. 325.

*V. G. KHARKEVICH, V. A. SHULYAK*

### **DEVELOPMENT AND STUDY OF EQUIPMENT FOR GRINDING DRIED ROLLS AND BUNS IN THE PRODUCTION OF BREAD CRUMBS**

#### **Summary**

The present article considers the results on studying the process of grinding rolls and buns in the production of bread crumbs. A new design and an operation principle of a crusher subjected to a complete complex of tests under the laboratory conditions at the Mogilev State University of Food and under the industrial conditions at 'Mogilevkhlebprom' are described. The experimental part of the article presents the results on the production parameters of the bread crusher 'ИХ-500' for the same batch of products with a simultaneous determination of several parameters of the grinding process (productivity and energy consumption of equipment, moisture content and quality grade of products to be processed, dispersed composition of products to be ground, solid phase-maintained capacity of the crusher). The results of the investigations conducted have made it possible to make clearer the methods of engineering calculation and to state the mechanisms of exact adjustment and the choice of optimal operating conditions depending on the technological problem of grinding.