

М.Д. АДАМБАЕВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц., А.М. АУЭЗОВА<sup>2</sup>, канд. техн. наук, А.М. АДАМБАЕВА<sup>1</sup> Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева<sup>2</sup> Алматинский университет энергетики и связи

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭНЕРГОЕМКОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Приведены результаты лабораторных исследований новой энергоэффективной технологии измельчения сырья. Эти технологии являются одной из наиболее энергоемких производств в промышленности. Полученные данные подтверждают возможность получения прорывных технико-экономических показателей при внедрении предлагаемой инновационной технологии измельчения сырья в шаровых мельницах. Последнее достигается за счет поддержания в них оптимальных траекторий движения внутримельничной загрузки в зависимости от постоянно меняющихся физико-механических свойств (крепости) измельчаемого продукта. В мельнице оперативно реализуются наиболее эффективные режимы измельчения (ударом, истиранием, раздавливанием). Достигнуто снижение удельных энергозатрат в зависимости от крепости измельчаемого материала на 31,3÷43,5 % с одновременным повышением производительности мельницы для сырья различного класса крепости на 22,3÷57,3 %. Для промышленных испытаний предлагаемой технологии разработан вариант системы автоматического контроля крепости измельчаемого материала в мельнице. Библ. 6, табл. 3, рис. 2.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, шаровые измельчение, крепость сырья, инновационная технология, лабораторные исследования, траектория движения, контроль крепости сырья

В мире измельчаются миллиарды тонн угля, рудных и не рудных полезных ископаемых. При таком громадном объеме производства даже небольшой процент повышения эффективности этих производств сулит огромные экономические выгоды. Процессы измельчения весьма энергоемки, в связи с этим стоимость электрической энергии в себестоимости таких процессов составляет более 22 % при среднем значении этого показателя для всех технологических процессов 2,6 %.

Поэтому создание новой эффективной технологии измельчения, позволяющей значительно повысить производительность измельчительных агрегатов и снизить удельный расход электроэнергии, безусловно, является актуальной проблемой.

Существующие технологии измельчения с постоянной (неуправляемой) траекторией движения внутримельничной загрузки малоэффективны, т.к. работают при заведомо пониженной производительности, рассчитанной на наиболее трудноизмельчаемое сырье. Поэтому необходима новая технология измельчения полезных ископаемых, которая мгновенно адаптируется к изменениям крепости исходного сырья.

Известно, что измельчение твердых полезных ископаемых производится тремя способами: ударом для крепких руд, истиранием для руд средней крепости и раздавливанием для мягких руд [1]. Таким образом, основная идея работы заключается в поддержании в измельчительных агрегатах оптимальной траектории движения внутримельничной загрузки (оптимальные режимы измельчения) в зависимости от крепости измельчаемого материала. Для сухого измельчения (углеподготовка на тепловых электростанциях, производство цемента и фосфоритной руды) испытана опытная система оперативного измерения крепости измельчаемого материала в шаровых мельницах (ноу-хау).

Испытания проведены по методу Фаренвольда [2]. Для обработки экспериментальных данных использованы прикладные методы изложенные в [3].

Некоторые результаты исследований работы лабораторной шаровой мельницы при постоянной и управляемой траектории движения внутримельничной загрузки приведены ниже.

Оценка полученных результатов ведется по следующим характеристикам процесса измельчения:

- 1) Содержание класса -0,074 мм в измельченном продукте  $\beta_{74}^i$  %, где  $i$  - индекс режима (1- скорость постоянная, 2-двухскоростной режим, 3-режим с меняющейся траекторией во времени);
- 2) Абсолютное увеличение содержания класса -0,074 мм в выходном продукте:

$$\gamma_{74}^i = \beta_{74}^i - d_{74}^i, \%$$

где  $\beta_{74}^i$  - содержание класса -0,074 мм после измельчения;

$d_{74}^i$  - содержание класса -0,074 мм в исходной пробе;

3) Увеличение содержания класса -0,074 мм при новом режиме по сравнению с режимом на постоянной скорости

$$Z = \gamma_{74}^i - \gamma_{74}^1, \%$$

4) Удельная производительность по вновь образованному классу -0,074 мм:

$$q_{74}^i = \frac{60 \cdot Q \cdot \gamma_{74}^i}{100 \cdot V_m \cdot T_{из}}, \frac{\text{кг}}{\text{л} \cdot \text{час}}$$

где Q - навеска пробы, кг, Q = 1,5;

$T_{из}$  - время измельчения,  $T_{из} = 24$  мин;

$V_m$  - рабочий объем мельницы,  $V_m = 7$  л;

5) Абсолютно увеличение удельной производительности

$$\Delta q = q_{74}^i - q_{74}^1, \frac{\text{кг}}{\text{л} \cdot \text{час}};$$

6) Относительное увеличение удельной производительности

$$\xi = \frac{\Delta q}{q_{74}^1}, \%$$

Результаты опытов и расчетов сведены в таблицу 1. Из таблицы 1 видно, что по сравнению с режимом на постоянной скорости предлагаемый режим на пробах серии «А», «В», «С» дает увеличение процентного содержания класса -0,074 мм соответственно на 9,5 %, 13 % и 11,9 %, удельной производительности на 0,049, 0,07 и 0,069 кг/л час, относительное увеличение производительности на 41,4, 55,5 и 50 %. Для оценки на содержание шламов были взяты пробы серии «В». Величина шламообразования оценивалась по классу -0,054 мм. Оказалось, что количество шламов уменьшилось на 3,5 %, говорящее о сужении крупности готового продукта в нужном диапазоне крупности. Относительное уменьшение количества шламов в сравнении с режимом на постоянной скорости равно 16,8 %. Характеристика крупности исходных проб и продуктов измельчения на разных режимах проведена на рисунке 1. Там же даны осциллограммы скорости вращения мельницы. Анализ кривых показывает, что увеличение содержания класса -0,074 мм в готовом продукте происходит за счет уменьшения содержания более крупных классов +0,14 мм и частично за счет уменьшения количества тонких классов -0,054 мм.

Таблица 1 - Результаты сравнений процесса измельчения при постоянной скорости вращения (1) и при двухскоростном режиме (2)

Серия	$i$	$d_{74}$	$\beta_{74}$	$\gamma_{74}$	$q_{74}$	$Z_{74}$	$\Delta q$	$\xi$
2	3	4	5	6	7	8	9	10
«А»	1	25,4	47,0	21,6	0,116	9,5	0,049	41,4
	2	25,4	56,5	31,1	0,169			
«В»	1	17,6	41,2	23,6	0,126	13,0	0,07	55,5
	2	17,6	54,2	36,6	0,196			
«С»	1	9,4	36,2	25,8	0,138	11,9	0,069	50,0
	2	9,4	48,1	38,7	0,207			

По результатам испытаний произведена оценка энергоэффективности исследуемого режима. Мощность замерялась по показаниям амперметра и вольтметра. Расход энергии одного цикла измельчения определялся произведением времени работы двигателя и потребляемой мощности по формуле:

$$N = \frac{T_{из} \cdot (k_0 P_0 + P_n \cdot k_n)}{60} \text{ кВт} \cdot \text{час},$$

где  $\kappa_0$  - коэффициент времени работы на основной скорости,  $\kappa_0 = 0,84$  ;

$\kappa_n$  - коэффициент работы на повышенной скорости,  $\kappa_n = 0,16$ ;

$P_0$  и  $P_n$  - развиваемая мощность двигателя соответственно на основной и повышенной скорости.

Значение энергоэффективности процесса измельчения вычислялось по формуле:

$$\Xi = \frac{G}{N} \frac{\kappa_2}{\kappa_{Вт \cdot час}},$$

где  $G = q_{74} \cdot V_m$  -производительность мельницы по классу -0,074 мм.

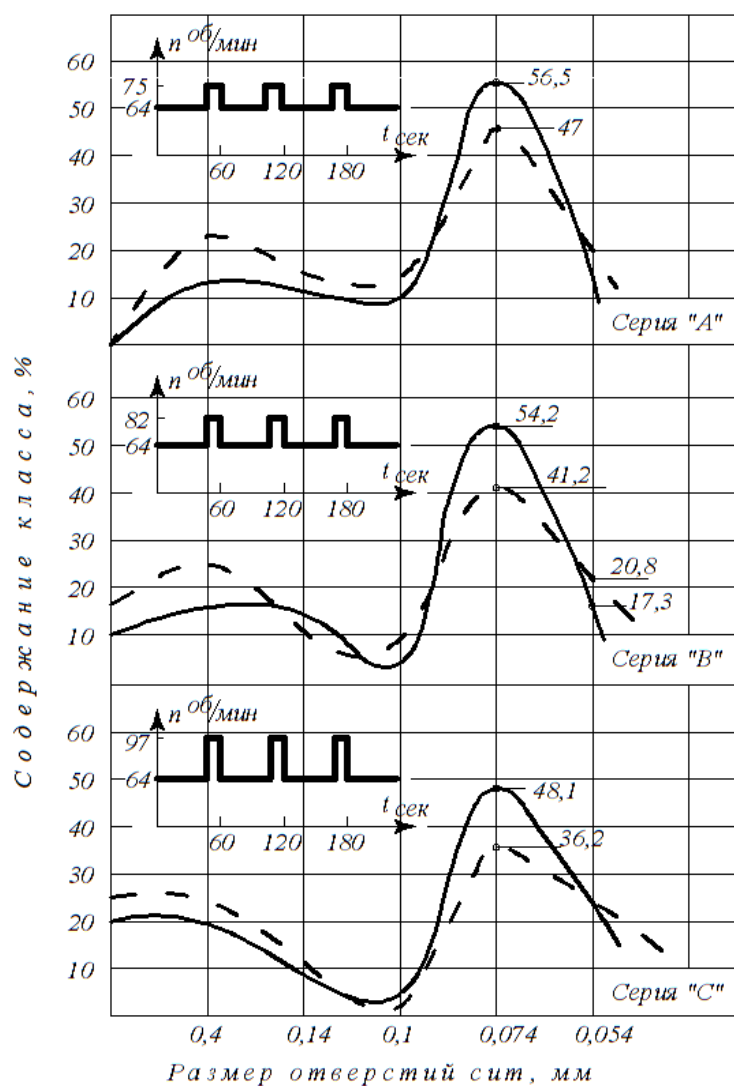


Рисунок 1 - Частная характеристика крупности измельченного продукта

Результаты замеров и вычислений приведены в таблице 2.

В сравнении с режимом постоянной траекторией движения внутримельничной загрузки режим с управляемой траекторией на пробах серии А, В, С дают абсолютно увеличение энергоэффективности и процентах 31,2-48,4 %.

Таблица 2 - Результаты опытов и расчетов при определении энергоэффективности различных технологий измельчения

Проба серии	Режим работы	Индекс режима	G кг	N кВт·час	$\frac{\Delta \varepsilon}{\text{кВт} \cdot \text{час}}$	$\frac{\Delta \varepsilon}{\text{кВт} \cdot \text{час}}$	$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon_1} \cdot 100 \%$
«А» (-2+0)	$\omega = \text{const}$	1	0,812	0,095	9	2,8	31,2
	$\omega = \text{var}$	2	1,169	0,098	11,8		
«В» (-3+0)	$\omega = \text{const}$	1	0,882	0,095	9,3	4,5	48,4
	$\omega = \text{var}$	2	1,372	0,099	13,8		
«С» (-5+0)	$\omega = \text{const}$	1	0,966	0,095	10,1	4,4	43,5

Следующий этап исследования режима управляемой траекторией заключался в выявлении характера скорости образования готового продукта. На пробах серии «С» было взято время измельчения равное 12 мин. Результаты испытания приведены на рисунке 2. Анализ кривых показывает, что скорость образования продукта по классу -0,074 мм до  $t_1 = 12$  мин растет, затем падает и при  $t = 24$  мин становится меньше, чем при режиме на постоянной траектории. Темп нарастания и спадания скорости образования продукта при исследуемом режиме в два раза больше, чем при режиме с постоянной траекторией.

Результаты экспериментов и расчетов процесса измельчения при меняющейся траектории движения во времени приведены в таблице 3.

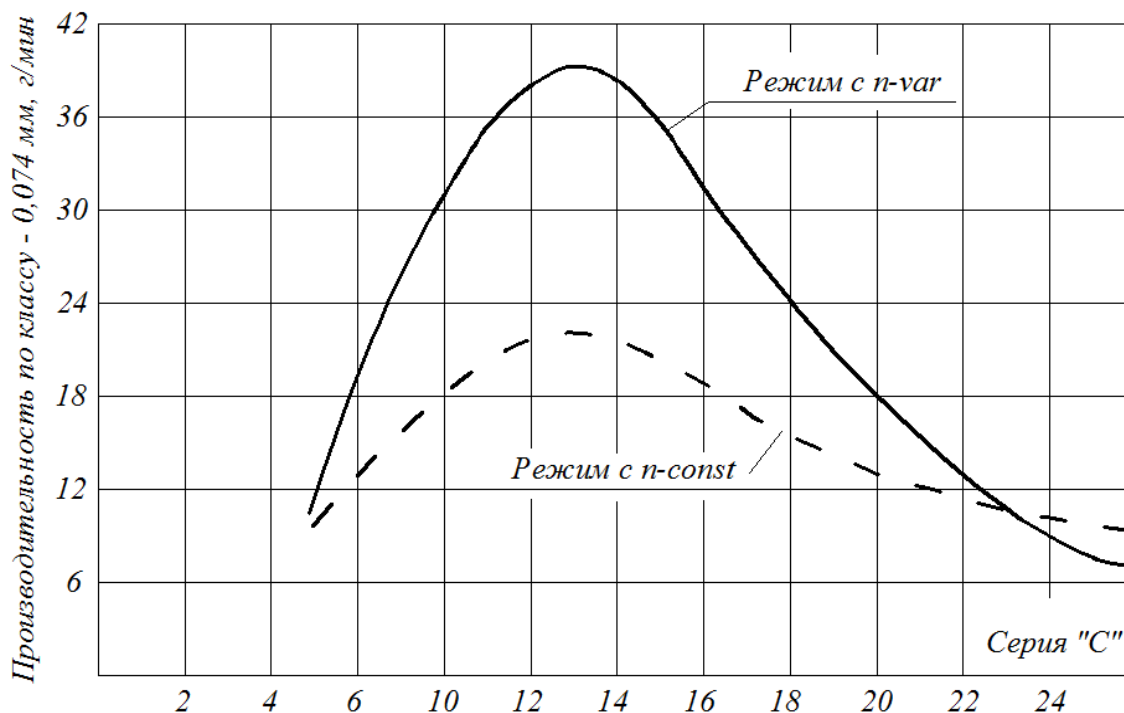


Рисунок 2 - Зависимость производительности по классу – 0,074 мм от времени измельчения.

Из таблицы 3 следует, что относительное увеличение содержания класса -0,074 мм при изменяемой скорости вращения больше, чем при постоянной скорости, на 6,9-15,5 %. Удельная производительность (на единицу объема мельницы) возрастает на 19,7-57,3 % по отношению к производительности при постоянной скорости вращения. Значительная разница в увеличении производительности на одних и тех же пробах по грансоставу, но разных месторождений 43,7-57,3 % и 19,7-22,3 % свидетельствуют о том, что руды значительно отличаются по физико-механическим свойствам, следовательно диаграмма изменения скорости вращения должна быть разной для разных руд [4].

Для проведения подобных экспериментов на действующих промышленных установках необходимым условием является наличие системы оперативного контроля крепости измельчаемого сырья в шаровой мельнице, позволяющего управлять траекторией движения внутримельничной загрузки в оптимальном режиме. Для двухкамерных сепараторных мельниц вариант такой системы разработан [5].

Таблица 3 - Результаты сравнения процесса измельчения при постоянной скорости вращения (1) и при меняющейся скорости во времени (3)

Серия	$i$	$d_{74}$ %	$\beta_{74}$ %	$q_{74}$ $\frac{кг}{л \cdot час}$	$Z_{74}$ %	$\Delta q$ $\frac{кг}{л \cdot час}$	$\xi$ %
«Д»	1	0	27,4	0,144	15,5	0,084	57,3
	3	0	42,5	0,228			
«L»	1	0	30,0	0,16	10,4	0,056	35,0
	3	0	40,4	0,216			
«К»	1	0	22,6	0,121	9,9	0,053	43,7
	3	0	32,5	0,174			
«М»	1	0	35,2	0,188	6,9	0,037	19,7
	3	0	42,1	0,225			
«N»	1	0	28,3	0,153	6,9	0,035	22,3
	3	0	35,2	0,188			

Таким образом по результатам исследования можно сделать следующие основные выводы:

1) Расчеты по расходу электроэнергии на измельчение показали, что расход энергии на 1 кг готового продукта снижается на 31,3-43,5 %.

2) Испытания переменного скоростного режима во времени показали увеличение производительности по классу - 0,074 мм на пробах с узким классом крупности на 0,035-0,084  $\frac{кг}{литр \cdot час}$ , что в процентах относительно режима с постоянной скоростью составляет соответственно 22,3-57,3 %.

#### Список литературы

1. Адамбаев М.Д. Автоматическое управление процессами сухой рудоподготовки. – Алматы: Комплекс, 2003. – 163с.
2. *Fahrenwald A.W.* Grinding and Classification. Report of Investigation, Bureau of Mines, USA, ser. 2829.
3. Адамбаев М.Д. Теория и практика технического эксперимента в электроэнергетике. – Алматы: КазНТУ, 2013. – 237с.
4. Адамбаев М.Д. Повышение эффективности процесса сухого измельчения. Идентификация и Автоматизация. Saarbrücken, Deuschlang (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishiuq, 2014. – 237с.
5. Инновационный патент №20963 Республики Казахстан «Способ автоматического контроля суммарной загрузки двухкамерной сепараторной мельницы и устройство для его осуществления». Оpubл. 16.03.2009, бюл.№3 /Адамбаев М.Д., Абдикадилов Н.Н., Адилханов Д.Б., Достанов Д.А.

M.D. ADAMBAYEV<sup>1</sup>, A.M. AUEZOVA<sup>2</sup>, A.M. ADAMBAYEVA

<sup>1</sup> K.I. Satpayev Kazakh National Technical University

<sup>2</sup> Almaty University of Power Engineering & Telecommunications

#### THE ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGY OF POWER-INTENSIVE GRINDING PROCESS

*Below - The results of laboratory studies of new energy efficient technologies grinding of raw materials. These technologies are the one of the most energy-intensive industries in the industry. These findings confirm the possibility of getting of groundbreaking of the technical and economic indicators in the implementation of the proposed innovative raw material grinding in ball mills. The last one is achieved by maintaining them in optimal trajectories of in-mill download depending on the constantly changing physical and mechanical properties (strength) of the crushed product. Inside the mill the most effective modes of grinding are quickly realized (impact, abrasion, crushing). Achieved a reduction in specific energy consumption depending on the strength of crushed material to 31,3 ÷ 43,5% while increasing productivity mills for raw materials of various classes fortress on 22,3 ÷ 57,3%. For Industrial test of offering technology was developed the variant of the automatic control of the fortress of the crushed material in the mill. The Books 5, Tables 3, Fig. 2.*

**Key words:** energy efficiency, ball milling, the fortress of raw materials, innovative technology, laboratory tests, the moving trajectory, the control of the fortress of raw materials.

#### References

1. *Adambayev M.D.* Automatic control of processes of ore dressing dry. - Almaty: Kompleks, 2003. – 163p. (Rus.).
2. *Fahrenwald A.W.* Grinding and Classification. Report of Investigation, Bureau of Mines, USA, ser. 2829.

3. Adambayev M.D. The Theory and practice of technical experiment in the power industry. - Almaty: KazNTU, 2013. - 237p. (Rus.).

4. Adambayev M.D. The Improvement of the efficiency of dry grinding. Identification and Automation. Saarbrucken, Deutschland (Germany): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 237p. (Rus.).

5. Innovative patent №20963 of the Republic of Kazakhstan "A method for automatically controlling the total load two-compartment separator mill and device for its implementation." Publ. 16-03-2009, byul.№3 /Adambayev M.D., Abdikadirov N.N., Adilkhanov D.B., Dostanov D.A. (Rus.).

Надійшла 24.05.2015

Received 24.05.2015

УДК 65.011.56,62-503.5

А.А. КОПЕСБАЕВА, канд. техн. наук, доц., Е.С. КИМ,  
А.М. АУЭЗОВА, канд. техн. наук, З.В. АБДУЛИНА  
Алматинский университет энергетики и связи

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА БАЗЕ СПЛК SIMATIC S7-1200

*Предлагается структура и основные компоненты экспериментальной площадки научных исследований современных проблем интеллектуальных систем автоматического управления технологическими процессами. Разработаны основные компоненты трехуровневой системы управления производством. Приведен перечень технического оборудования, обеспечивающего весь спектр задач управления современной системой автоматизации предприятия. Приведен пример реализации и результаты исследований интеллектуальной системы на базе свободно-программируемого логического контроллера Simatic 1200.*

**Ключевые слова:** автоматизация, интеллектуальные системы, свободно-программируемый контроллер, диспетчерский пункт сбора данных, микроконтроллер, промышленная сеть.

Проблемы исследования современных систем автоматизации требуют наличия соответствующих экспериментальных площадок. На сегодняшний день существует множество решений в области автоматизации технологических процессов, позволяющие свободно решать широкий спектр задач, обладающие компактной конструкцией, низкой стоимостью, и мощным набором команд для огромного количества приложений в области управления [3,4].

В рамках научного сотрудничества с представительством фирмы Siemens в Казахстане в Алматинском университете энергетики и связи (АУЭС) создана экспериментальная учебная и научно-исследовательская площадка многоуровневой системы автоматизации производственного процесса. Данная экспериментальная площадка базируется на учебных лабораториях кафедры Электроника. Структура экспериментальной площадки построено по иерархическому принципу современного производства. На рисунке 1 представлены три уровня экспериментальной площадки:

Интеллектуальная система центрального диспетчерского пункта (ИС-ЦДП), Интеллектуальная система промышленной сети контроллеров управления (ИС-ПС), интеллектуальная система информационно-измерительных каналов (ИИС). Состав технических средств предусматривает наиболее современные микропроцессорные средства измерения, управления, регулирования. Структура интеллектуальных подсистем построена таким образом, что замена любого из элементов осуществляется легко. Соответствующее современным требованиям техническое оборудование данной экспериментальной площадки показано на рисунке 1. Соответственно профилю ВУЗа предусмотрены следующие объекты исследований: насосная станция (ТО-НС), калориферная установка (ТО-КУ), электроэнергетический объект (ТО-ЭЭ), жилищно-коммунальное хозяйство (ТО-ЖКХ), летательного аппарата (ТО-ЛА). Измеряемые технологические величины на соответствующих объектах: давление среды ( $P_{H_2O}$ ,  $P_{O_2}$ ,  $P_{LA}$ ), расход среды ( $F_{H_2O}$ ,  $F_{O_2}$ ), температура среды ( $T_{H_2O}$ ,  $T_{1O_2}$ ,  $T_{2O_2}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ), уровень ( $L_{H_2O}$ ), влажность ( $M$ ), концентрация газов ( $C_T$ ), частота переменного тока ( $f$ ), действующее значение тока ( $I$ ), напряжение переменного тока ( $U$ ), электрическая мощность ( $W$ ), освещенность ( $E_1, E_2$ ), высотомер ( $H_{ла}$ ), скорость воздушного потока ( $v_{ла}$ ).