

DOI: 10.12737/22073

*Остановский А.А., канд. техн. наук, доц.,
Дровников А.Н., д-р техн. наук, проф.,
Осипенко Л.А., канд. техн. наук, доц.*

*Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал)
Донского государственного технического университета*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОГО НЕСООТВЕТСТВИЯ ВЕТВЕЙ ЗАМКНУТОГО КОНТУРА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В МЕЛЬНИЦАХ СИСТЕМЫ «МКАД»

Ostanovskiy51@mail.ru

Приводятся результаты экспериментальных исследования зависимости производительности мельницы системы «МКАД», имеющей механизм замкнутого контура, от величины его кинематического несоответствия ветвей. Построены графики этой зависимости. Дается описание особенностей физической картины протекающего процесса

Ключевые слова: *теория разрушения, энергоэффективность, энергозатраты, производительность, кинематическое несоответствие, мельница, циркулирующая мощность.*

В перспективе при преодолении мирового финансового кризиса перед многими отраслями народного хозяйства быстроразвивающихся стран, в том числе РФ и страны СНГ, выдвинется задача по переработке и измельчению большого объема минерального сырья. В этой связи необходимо подготовить техническую базу, позволяющую создавать на её основе эффективное измельчительное оборудование. Достижение поставленной цели в современных рыночных условиях возможно только на поиске и реализации технических решений, позволяющих с минимальными издержками решить эту задачу [1].

В нашей стране за последние 25–30 лет достигнуты значительные результаты в области создания эффективного дробильно-измельчительных оборудования, позволяющего значительно поднять его технический уровень, повысить производительность и снизить их энергоёмкость измельчения и дробления.

Одним из перспективных направлений в создании таких машин являются мельницы динамического самоизмельчения системы «МАЯ», в которых используется способ самоизмельчения материала [2–4]. Это направление дает существенные преимущества в сравнении с другими типами измельчительного оборудования.

Ниже приведены основные достоинства этих мельниц:

- совмещение в одном аппарате операции мелкого дробления и измельчения (крупность исходного материала для конструкции промышленного применения с диаметром чашеобразного ротора 1000 мм составляет 80 мм);
- высокая удельная производительность (более 1 т/(м³·ч));

- низкий удельный расход электроэнергии (менее 6,7 кВт·ч/т);

- низкий удельный расход металла (менее 100 г/т);

- низкий уровень шума (для конструкции промышленного применения с диаметром чашеобразного ротора 1000 мм менее 65 дБ на расстоянии 1,5 м);

- низкая металлоемкость (1 (масса металла)·ч/(массу готового продукта) для конструкции промышленного применения с диаметром чашеобразного ротора 1000 мм);

- отсутствие измельчающих тел и устройства специальных фундаментов под монтаж этого оборудования;

- исключение из технологической цепочки транспортных машин и регулировочных устройств, связывающих их с измельчительными машинами;

- возможность исключения из технологической схемы производства ряда агрегатов за счет совмещения среднего дробления и измельчения в одной мельнице [5–7].

Однако и мельницы этой системы, по мнению авторов, по своим техническим показателям, несмотря на свои преимущества с существующими типами мельниц (барабанными, шаровыми и стержневыми) достигли, в первую очередь по энергозатратам, своего предела и не могут в полной мере рассматриваться, как основа для переоснащения предприятий. С точки зрения возможности дальнейшего повышения снижения энергозатрат способ самоизмельчения, реализованный в мельницах системы «МАЯ», достиг своего предела, так как в его основе заложено принципиальное условие – разрушение кусков происходит в основном за счет кинетической энергии вращающегося ро-

тора, частота вращения которого не может превышать некоторого критического значения ($n_{\text{крит}} = 350 \div 480$ об/мин) [8].

Кроме того, в эффективном измельчительном оборудовании остро нуждается средний и малый бизнес, занимающийся переработкой различных минеральных материалов (мергеля, мела, комковой извести, гранита, графит-содержащих материалов и др.).

Одним из перспективных направлений, позволяющим повысить энергоэффективность

вертикальных мельниц динамического самоизмельчения, является созданные на основе разработанной классификации [9] мельницы динамического самоизмельчения, имеющие замкнутый контур [10-14].

На рис. 1 показан созданный на основе патентных исследований экспериментальный образец мельницы такого типа.



Рис. 1. Измельчитель динамического самоизмельчения с силовым замкнутым контуром

Преимуществом созданного измельчительного устройства является то, что в нём для разрушения кусков помимо кинетической энергии вращающегося ротора, используется мощность замкнутого контура, приводящая к целенаправленному формированию в вертикальных мельницах динамического самоизмельчения с замкнутым контуром так называемой «циркулирующей» мощности с целью полезного её использования для разрушения материалов [15]. Это достигается тем, что верхняя и нижняя ветвь замкнутого контура, по которым потоки мощности передаются от приводного двигателя к измельчаемому материалу, выполнены с их кинематическим несоответствием, т. е. передаточные отношения ветвей не равны между собой – $i_{\text{верх}} \neq i_{\text{нижн}}$.

А кинематическое несоответствие ветвей, характеризующее степень влияния циркулирующей мощности на производительность мельницы такой системы, определится из выражения

$$I_{\text{кн}} = \frac{i_{\text{верх}}}{i_{\text{нижн}}}, \quad (1)$$

где $i_{\text{верх}}$ – передаточное отношение привода верхней в ветви замкнутого контура; $i_{\text{нижн}}$ – передаточное отношение привода в нижней ветви замкнутого контура.

Определение выходных показателей созданного измельчительного устройства на начальном этапе исследования потребовало исследование в

мельнице такого конструктивного исполнения влияние этого параметра на производительность и анализ протекающей при этом физической картины процесса.

Для установления этой зависимости была проведена серия экспериментов. При этом на экспериментальной установке для разных размеров выпускных отверстий, равных на основе разработанной матрицы планирования экспериментов соответственно 3,4; 5,0; 7,0; 9,0 и 10,4 мм, при исходной высоте столба материала над ротором $H_{\text{сл}}$, равной 260, 380 и 500 мм [16, 17].

Результаты эксперимента зависимости производительности и гранулометрического состава готового продукта (мергеля с исходной крупность кусков 40 мм) от кинематического несоответствия ветвей замкнутого контура и высоты

столба материала над ротором при постоянном значении диаметра выпускных отверстий пред-

ставлены в табл. 1– 5 и графические на рис. 1– 5.

Таблица 1

Результаты экспериментального исследования влияния кинематического несоответствия $I_{\text{кн}}$ и высоты столба материала $H_{\text{сл}}$ на производительность по общему выходу классов готового продукта $G_{\text{вых}}$; при $d_{\text{вып}}=3,4$ мм

№п/п	Частоты вращения ротора и барабана об/мин	Кинематическое несоответствие ветвей замкнутого контура $I_{\text{кн}}=i_{\text{верх}}/i_{\text{нижн}}$	Высота столба материала в барабане над ротором Нсл, мм	Минутная производительность $G_{\text{вых}}$, кг/мин
1.1	768/196,4	0,22	260	3,56
1.2		0,22	380	3,98
1.3		0,22	500	3,67
1.1	691,2/196,4	0,29	260	2,93
1.2		0,29	380	3,50
1.3		0,29	500	3,21
1.1	614,4/196,4	0,32	260	2,54
1.2		0,32	380	3,19
1.3		0,32	500	3,01
1.1	768/292,4	0,38	260	2,39
1.2		0,38	380	2,71
1.3		0,38	500	2,42
1.1	691,2/292,4	0,42	260	2,16
1.2		0,42	380	2,63
1.3		0,42	500	2,67
1.1	614,4/292,4	0,48	260	1,84
1.2		0,48	380	2,37
1.3		0,48	500	1,98

Таблица 1

Результаты экспериментального исследования влияния кинематического несоответствия $I_{\text{кн}}$ и высоты столба материала $H_{\text{сл}}$ на производительность по общему выходу классов готового продукта $G_{\text{вых}}$; при $d_{\text{вып}}=3,4$ мм

№п/п	Частоты вращения ротора и барабана об/мин	Кинематическое несоответствие ветвей замкнутого контура $I_{\text{кн}}=i_{\text{верх}}/i_{\text{нижн}}$	Высота столба материала в барабане над ротором Нсл, мм	Минутная производительность $G_{\text{вых}}$, кг/мин
1.1	768/196,4	0,22	260	3,56
1.2		0,22	380	3,98
1.3		0,22	500	3,67
1.1	691,2/196,4	0,29	260	2,93
1.2		0,29	380	3,50
1.3		0,29	500	3,21
1.1	614,4/196,4	0,32	260	2,54
1.2		0,32	380	3,19
1.3		0,32	500	3,01
1.1	768/292,4	0,38	260	2,39
1.2		0,38	380	2,71
1.3		0,38	500	2,42
1.1	691,2/292,4	0,42	260	2,16
1.2		0,42	380	2,63
1.3		0,42	500	2,67
1.1	614,4/292,4	0,48	260	1,84
1.2		0,48	380	2,37
1.3		0,48	500	1,98

Таблица 2

Результаты экспериментального исследования влияния кинематического несоответствия $I_{\text{кн}}$ и высоты столба материала $H_{\text{сл}}$ на производительность по общему выходу классов готового продукта $G_{\text{вых}}$; при $d_{\text{вып}}=5,0$ мм

№п/п	Частоты вращения ротора и барабана об/мин	Кинематическое несоответствие ветвей замкнутого контура $I_{\text{кн}}=i_{\text{верх}}/i_{\text{ниж}}$	Высота столба материала в барабане над ротором $H_{\text{сл}}$, мм	Минутная производительность $G_{\text{вых}}$, кг/мин
1.1	768/196,4	0,22	260	4,27
1.2		0,22	380	5,44
1.3		0,22	500	4,62
1.1	691,2/196,4	0,29	260	3,35
1.2		0,29	380	4,25
1.3		0,29	500	3,52
1.1	614,4/196,4	0,32	260	3,65
1.2		0,32	380	3,91
1.3		0,32	500	3,59
1.1	768/292,4	0,38	260	3,12
1.2		0,38	380	4,53
1.3		0,38	500	3,81
1.1	691,2/292,4	0,42	260	3,98
1.2		0,42	380	4,26
1.3		0,42	500	4,84
1.1	614,4/292,4	0,48	260	2,11
1.2		0,48	380	3,07
1.3		0,48	500	2,66

Таблица 3

Результаты экспериментального исследования влияния кинематического несоответствия $I_{\text{кн}}$ и высоты столба материала $H_{\text{сл}}$ на производительность по общему выходу классов готового продукта $G_{\text{вых}}$; при $d_{\text{вып}}=7,0$ мм

№п/п	Частоты вращения ротора и барабана об/мин	Кинематическое несоответствие ветвей замкнутого контура $I_{\text{кн}}=i_{\text{верх}}/i_{\text{ниж}}$	Высота столба материала в барабане над ротором $H_{\text{сл}}$, мм	Минутная производительность $G_{\text{вых}}$, кг/мин
1.1	768/196,4	0,22	260	4,72
1.2		0,22	380	9,96
1.3		0,22	500	6,32
1.1	691,2/196,4	0,29	260	4,11
1.2		0,29	380	7,88
1.3		0,29	500	7,18
1.1	614,4/196,4	0,32	260	5,94
1.2		0,32	380	6,94
1.3		0,32	500	6,90
1.1	768/292,4	0,38	260	4,03
1.2		0,38	380	6,87
1.3		0,38	500	6,53
1.1	691,2/292,4	0,42	260	3,31
1.2		0,42	380	6,19
1.3		0,42	500	6,28
1.1	614,4/292,4	0,48	260	3,01
1.2		0,48	380	5,98
1.3		0,48	500	5,19

Таблица 4

Результаты экспериментального исследования влияния кинематического несоответствия $I_{\text{кн}}$ и высоты столба материала $H_{\text{сл}}$ на производительность по общему выходу классов готового продукта $G_{\text{вых}}$; при $d_{\text{вып}}=9,0$ мм

№п/п	Частоты вращения ротора и барабана об/мин	Кинематическое несоответствие ветвей замкнутого контура $I_{\text{кн}}=i_{\text{верх}}/i_{\text{нижн}}$	Высота столба материала в барабане над ротором Нсл, мм	Минутная производительность $G_{\text{вых}}$, кг/мин
1.1	768/196,4	0,22	260	7,73
1.2		0,22	380	11,7
1.3		0,22	500	8,97
1.1	691,2/196,4	0,29	260	6,62
1.2		0,29	380	9,83
1.3		0,29	500	7,69
1.1	614,4/196,4	0,32	260	6,20
1.2		0,32	380	7,98
1.3		0,32	500	7,56
1.1	768/292,4	0,38	260	5,58
1.2		0,38	380	9,92
1.3		0,38	500	6,14
1.1	691,2/292,4	0,42	260	6,34
1.2		0,42	380	7,36
1.3		0,42	500	6,14
1.1	614,4/292,4	0,48	260	5,05
1.2		0,48	380	6,95
1.3		0,48	500	5,32

Таблица 5

Результаты экспериментального исследования влияния кинематического несоответствия $I_{\text{кн}}$ и высоты столба материала $H_{\text{сл}}$ на производительность по общему выходу классов готового продукта $G_{\text{вых}}$; при $d_{\text{вып}}=10,4$ мм

№п/п	Частоты вращения ротора и барабана об/мин	Кинематическое несоответствие ветвей замкнутого контура $I_{\text{кн}}=i_{\text{верх}}/i_{\text{нижн}}$	Высота столба материала в барабане над ротором Нсл, мм	Минутная производительность $G_{\text{вых}}$, кг/мин
1.1	768/196,4	0,22	260	10,4
1.2		0,22	380	14,6
1.3		0,22	500	12,5
1.1	691,2/196,4	0,29	260	9,09
1.2		0,29	380	12,2
1.3		0,29	500	10,3
1.1	614,4/196,4	0,32	260	8,35
1.2		0,32	380	11,4
1.3		0,32	500	9,78
1.1	768/292,4	0,38	260	7,67
1.2		0,38	380	10,8
1.3		0,38	500	9,85
1.1	691,2/292,4	0,42	260	6,51
1.2		0,42	380	9,12
1.3		0,42	500	8,13
1.1	614,4/292,4	0,48	260	6,08
1.2		0,48	380	7,96
1.3		0,48	500	7,12

Обработка полученных экспериментальных данных и построение графиков производилась с

помощью программы Advanced Crasher – [untitled 1. arg].

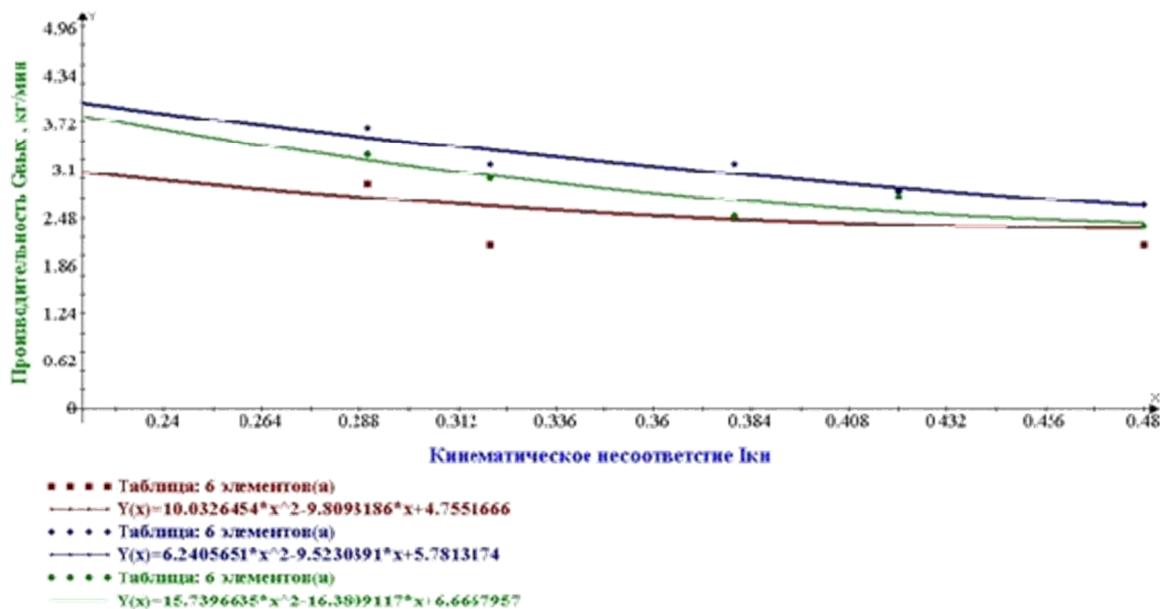


Рис. 1. Зависимость производительности по общему выходу фракций от кинематического несоответствия ветвей при $d_{\text{вып}}=3,4$ мм:
 ■ – высота $H_{\text{сл}} = 260$ мм; ◆ - высота $H_{\text{сл}} = 380$ мм; ● – высота $H_{\text{сл}} = 500$ мм

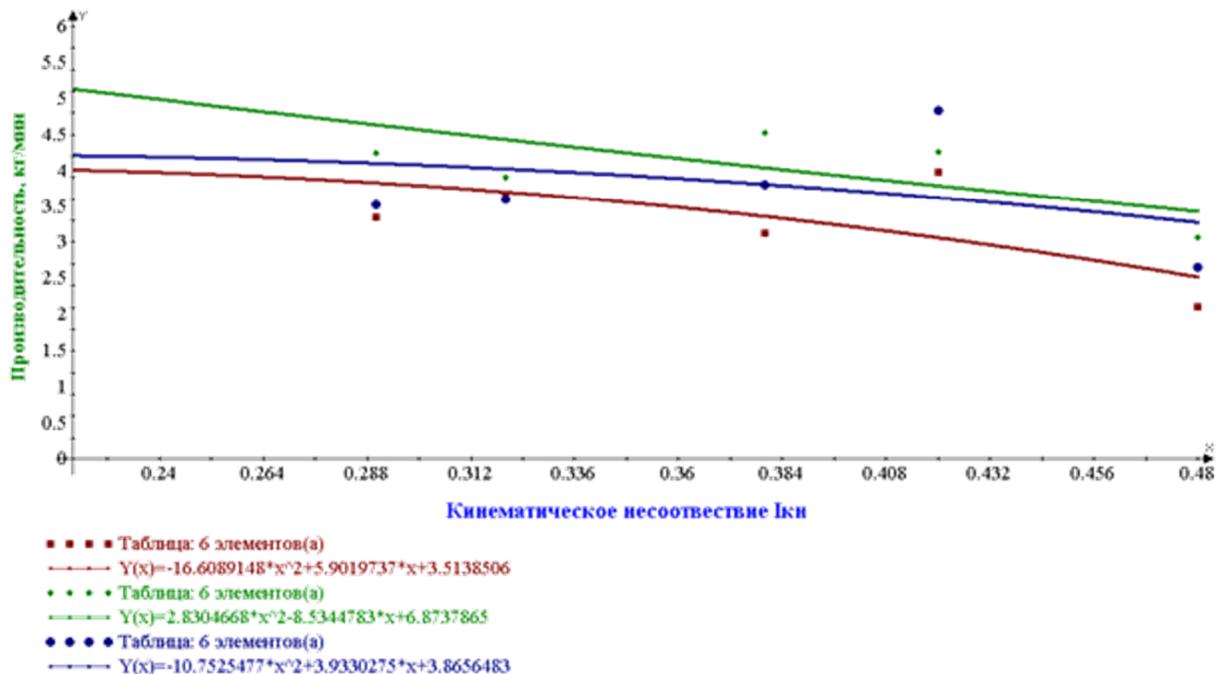


Рис. 2. Зависимость производительности по общему выходу фракций от кинематического несоответствия ветвей при $d_{\text{вып}}=5,0$ мм:
 ■ – высота $H_{\text{сл}} = 260$ мм; ◆ - высота $H_{\text{сл}} = 380$ мм; ● – высота $H_{\text{сл}} = 500$ мм

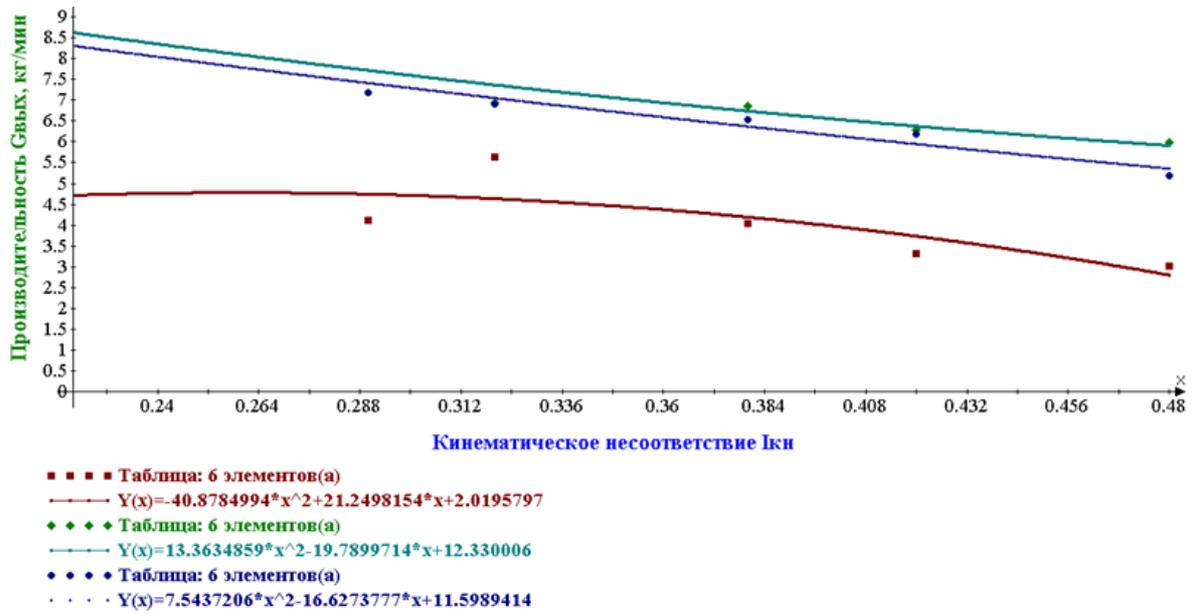


Рис. 3. Зависимость производительности по общему выходу фракций от кинематического несоответствия ветвей при $d_{вып} = 7,0$ мм:

■ – высота Нсл = 260 мм; ◆ - высота Нсл = 380 мм; ● – высота Нсл = 500 мм

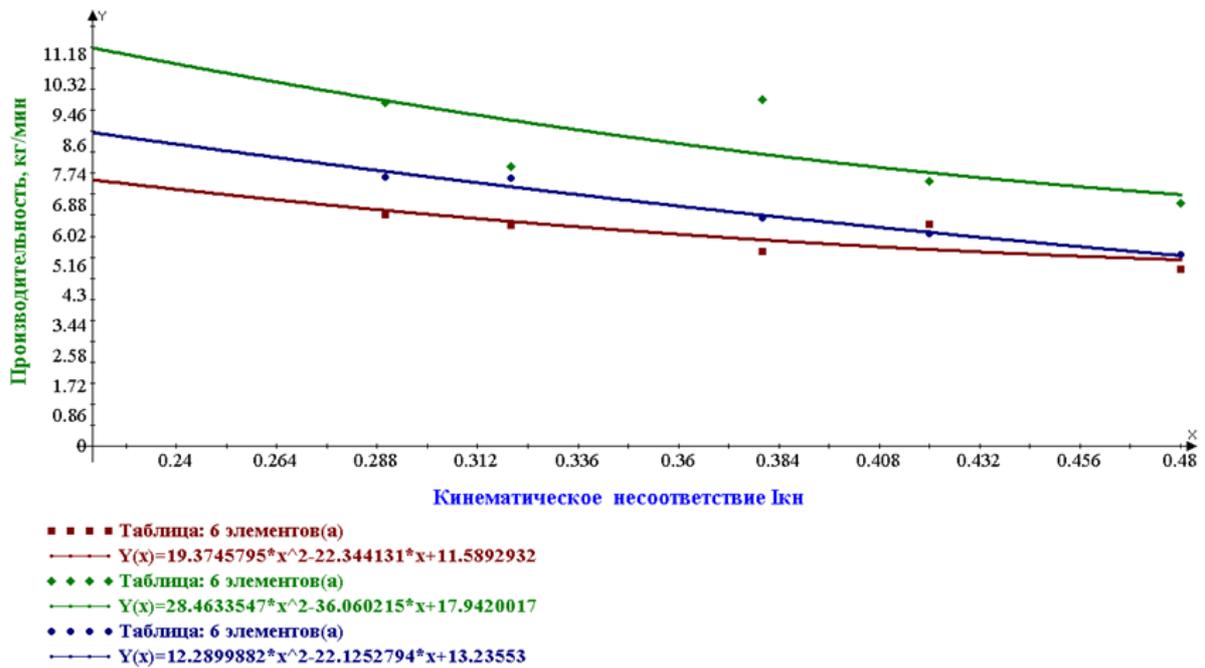


Рис. 4. Зависимость производительности по общему выходу фракций от кинематического несоответствия ветвей при $d_{вып} = 9,0$ мм:

■ – высота Нсл = 260 мм; ◆ - высота Нсл = 380 мм; ● – высота Нсл = 500 мм

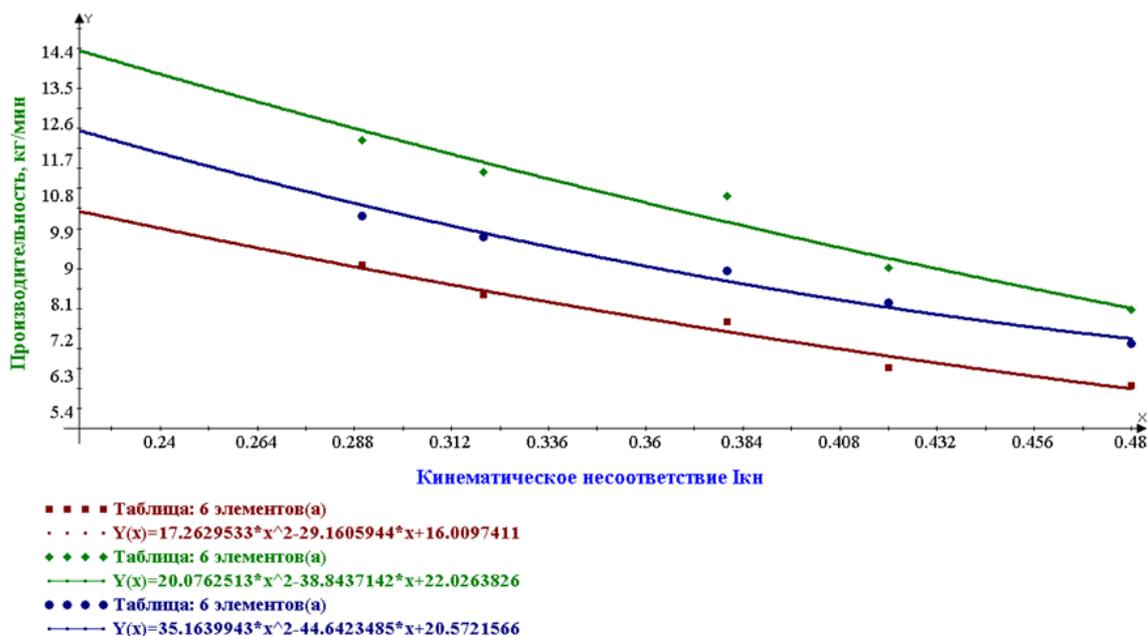


Рис. 5. Зависимость производительности по общему выходу фракций от кинематического несоответствия ветвей при $d_{вып}=10,4$ мм:

■ – высота Нсл = 260 мм; ◆ - высота Нсл = 380 мм; ● – высота Нсл = 500 мм

Анализ полученных зависимостей производительности по общему выходу классов от величины кинематического несоответствия ветвей замкнутого контура и высоты столба материала над ротором показывает, что во всех случаях с увеличением значения кинематического несоответствия его производительность снижается по падающей полиномиальной зависимости типа

$$y_1 = ax^2 - bx + c.$$

Это объясняется следующими причинами. При возрастании величины кинематического несоответствия, которая происходит за счет увеличения угловой скорости ротора, частицы материала, находящиеся в полости барабана и примыкающие к его стенкам начинают проскальзывать относительно неё. Движение этих частиц в барабане в этом случае происходит не по наиболее выгодной для осуществления процесса самоизмельчения тороидальной траектории, циркуляция частиц в вертикальной плоскости осуществляется менее интенсивно, и процесс самоизмельчения начинает затухать по мере возрастания величины кинематического несоответствия с $I_{кн} = 0,22$ до $0,48$.

Высота слоя материала над ротором влияет на производительность следующим образом. Наибольшая производительность происходит при высоте Нсл = 380 мм, а минимальная при высоте слоя 500 и 260 мм соответственно красная и синяя линия. При этом наибольший выигрыш по производительности дает высота столба

материала, при которой соотношение среднего исходного размера куска к высоте слоя равно $id \approx Нсл/d_{исх} = 10 \div 12$ и далее при соотношении, равному $id < 6 \div 8$, производительность имеет резкую тенденцию к её снижению. При значениях исходной высоты материала над ротором более 500 мм, при которой $id > 12 \div 15$ также наблюдается тенденция к снижению производительности.

Такая физическая картина проистекает по следующим причинам.

Высота слоя Нсл = 380 мм является оптимальной, при которой процесс самоизмельчения в мельнице осуществляется с наибольшей производительностью. При этом циркуляция материала и взаимодействие частиц происходит более высокой скоростью, что способствует более высокому контактному взаимодействию частиц, чем при других значениях величины кинематического несоответствия $I_{кн}$. Следовательно, в этом случае и производительность будет наибольшей, а энергозатраты минимальными.

При высоте слоя Нсл = 260 мм наблюдается, как указано выше, снижение производительности мельницы. При исследовании причин данного явления было установлено, что при такой высоте наблюдается прилипание мелких частиц, имеющих размеры, равные $(1,5 \div 1,8)$ диаметра выпускных отверстий в барабане – $d_{вып}$, к внутренней его поверхности. Такое явление препятствует своевременной эвакуации достигшей определенной степени измельчения частиц за пределы установки. Причиной такого

явления объясняется преобладанием центробежных сил при вращении ротора с силами, возникающими при образовании циркулирующей мощности, при которой циркуляция частиц происходит по тороидальной траектории, характерная для протекания процесса самоизмельчения. Следовательно, при такой высоте слоя материала над ротором будет происходить переизмельчение материала, производительность установки будет снижаться, а энергозатраты возрастать.

При значениях исходной высоты материала над ротором более 500 мм, при значении которой $id > 12 \div 15$ в верхних слоях образуются купола (провалы). Возникновение такого явления нарушает процесс циркуляции частиц материала по тороидальной траектории, интенсивность их взаимодействия снижается, что приводит к снижению производительности мельницы.

Выводы. Полученные экспериментальные данные и построенные на их основе графические зависимости производительности от кинематического несоответствия ветвей замкнутого контура позволили установить физическую картину процесса. Возможность регулирования кинематического несоответствия ветвей в замкнутом контуре в мельнице этой системы позволит влиять в широких пределах на выходные параметры, в том числе и на производительность, что невозможно осуществлять в мельницах динамического самоизмельчения системы «МАЯ».

Полученные экспериментальные данные будут востребованы конструкторами и при проектировании и выборе основных конструктивных и режимных параметров мельниц системы «МКАД».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приказ Минрегиона РФ от 30.05.2011 № 262 «Об утверждении Стратегии развития промышленности строительных материалов и индустриального домостроения на период до 2020 года».
2. А. с. № 651845 (СССР), МПК4 В 02 С13/14. Способ измельчения материала/ Ягупов А.В.; заявитель Северо-Кавказский горно-металлургический институт. - № 2331562; заявл. 09.06 1976, опублик. 15.03. 1979, Бюл. №11. – 3 с.
3. А.с. № 710632 (СССР), МКИ В 02 С 13/00. Мельница динамического самоизмельчения «МАЯ»/ Ягупов А.В.; заявитель Северо-Кавказский горно-металлургический институт. - заявка № 2325134; заявл. 17.02. 1976, опублик. 25.01.1980, Бюл. №3. 4 с.
4. А.с. №1308382 (СССР), МКП4 В 02 С 13/14. Мельница динамического самоизмельче-

ния/ Ягупов А.В., Хетагуров В.Н., Гегелашвили М.В., Фридман Е.М.; заявитель Северо-Кавказский горно-металлургический институт. - заявка № 4000261; заявл. 30.12.1985, опублик. 07.08.87, Бюл. №17. 3 с.

5. Ягупов А.В., Гегелашвили М.В., Хетагуров В.Н., Палванов В.П. Опыт динамического самоизмельчения золотосодержащей руды // Колыма. 1986. №5. С. 14–15.

6. Хетагуров В.Н., Кузьминов А.П. Опыт промышленной эксплуатации центробежной мельницы нового типа на Новочеркасском электродном заводе (НЭЗ) // В сб. научных трудов СКГТУ №4.- г. Владикавказ, 1998.С. 251-254.

7. Ягупов А.В., Хетагуров В.Н. Вертикальные мельницы динамического самоизмельчения и результаты их практического применения. //Дробильно-размольное оборудование и технология дезинтеграции: Междувед. сб. науч. тр./ «Механобр». Л., 1991. С. 49

8. Гегелашвили М.В. Определение границ скоростных режимов движения материала в мельнице динамического самоизмельчения «МАЯ» // Механизмы и машины ударного, периодического и вибрационного действия. Матер, междунар. симп. (Орел 22- 24 нояб. 2000 г.) Орел ОПУ. 2000. С. 245–249.

9. Дровников А.Н., Остановский А.А., Маслов Е.В. Классификация вертикальных мельниц динамического самоизмельчения как основа создания измельчительного оборудования нового поколения // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. 2014. № 6. С. 12–17.

10. Измельчитель динамического самоизмельчения. Дровников А. Н., Остановский А. А., Никитин Е. В., Павлов И. А, Осипенко Л. А., Агафонов Н.А. Патент на изобретение №2465960. Опублик. 10.11 2012 г. Бюл. №31.

11. Мельница. Дровников А. Н., Остановский А. А., Маслов Е. В., Бурков Н. В., Романенко Г. Н. Патент на изобретение №2496581. Опублик. 27.10.2013. Бюл. №30.

12. Измельчитель динамического самоизмельчения материала. Дровников А. Н., Остановский А. А., Маслов Е. В., Рыбальченко А. Н. Патент на изобретение №2520008. Заявка: 2013105689/13. Дата подачи заявки 11.02. 2013 . Опублик. 20.06 2014 г., Бюл. №17.

13. Устройство для измельчения материала. Дровников А. Н., Остановский А. А. Патент на изобретение №2526668. Опублик. 27.08.2014. Бюл. №24.

14. Мельница. Дровников А.Н., Исаков В.С., Остановский А.А., Никитин Е.В., Маслов Е.В., Городнянский В.М., Черкесов В.Ю. Патент

на изобретение №2558205. Оpubл. 27.07.2015. Бюл. №21.

15. Остановский А.А., Дровников А.Н., Чирской А. С. Сравнительный анализ мельниц динамического самоизмельчения системы «МАЯ» и «МКАД» // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. 2015. № 1. С. 90–95 .

16. Адлер Ю. П., Маркова Е.В., Гранвеб Ю.В. Планирование эксперимента при поиске

оптимальных условий. 2- е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1976. 279 с.

17. Остановский А.А., Маслов Е.В. К определению производительности и удельных энергозатрат в вертикальной мельнице динамического самоизмельчения с силовым замкнутым контуром // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. 2015. №3. С. 59–67.

Ostanovskiy A. A., Drovnikov A. N., Osipenko L.A.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF KINEMATIC MISMATCH BRANCHES CLOSED-LOOP PERFORMANCE IN MILLS «MCAD» SYSTEM

The results of experimental investigations of the dependence of the system performance of the mill «MCAD», which has a mechanism of a closed loop, the value of its branches kinematic mismatch. Built graphically this relationship. A description of features of the physical picture of the ongoing process.

Key words: *theory of destruction, energy efficiency, power consumption, performance, kinematic discrepancy, mill, circulating power.*

Остановский Александр Аркадьевич, докторант, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технические системы ЖКХ и сферы услуг».

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Донского государственного технического университета.

Адрес: Россия, 346500, г. Шахты Ростовской области, ул. Шевченко, 147

E-mail: Ostanovskiy51@mail.ru

Дровников Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технические системы ЖКХ и сферы услуг» .

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Донского государственного технического университета.

Адрес: Россия, 346500, г. Шахты Ростовской области, ул. Шевченко, 147

E-mail: drownikow@pochta.ru

Осипенко Людмила Аркадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технические системы ЖКХ и сферы услуг».

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Донского государственного технического университета.

Адрес: Россия, 346500, г. Шахты Ростовской области, ул. Шевченко, 147

E-mail: aaanet@mail.ru