

Системный анализ ударно-раскалывающего измельчения в молотковой дробилке

¹*ИСКАКОВ Руслан Маратбекович, к.т.н., ассоциированный профессор, rus.iskakov79@mail.ru,

¹ИСЕНОВ Султанбек Сансызбаевич, к.т.н., ассоциированный профессор, isenov_sultan@mail.ru,

¹ЗАИЧКО Григорий Анатольевич, к.т.н., ассоциированный профессор, gzaichko@mail.ru,

¹Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Казахстан, 010011, Нур-Султан, пр. Женис, 62,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Цель статьи заключается в выявлении основных характеристик, приводящих к совершенствованию работоспособности шарнирно подвешенных молотков дробилки. Производство кормов и особенно переработка отходов животного происхождения требует совершенствования дробилок. Решение данной задачи возможно за счет проведения системного анализа ударно-раскалывающего измельчения и разработки эффективных конструкций молотков. Вопросы удара, раскалывания, соударения рассмотрены в структурных схемах V уровня иерархии системного анализа, рассматривающих конструктивные особенности дробилки и молотков. В результате выявлено, что совершенствование молотков целесообразно проводить за счет сокращения времени образования трещин и щелей в раскалывающихся частицах, а также за счет изменения конструкции молотка путем образования зубчатой поверхности по внешней поверхности молотка, что позволит интенсифицировать процесс раскалывания измельчаемых частиц. В процессе исследований разработаны новые конструкции молотков, ориентированные на повышение работоспособности с интенсификацией трещинообразования в измельчаемых частицах. Выявлено, что эффективность работы молотковой дробилки зависит от наличия зубьев на молотках молотковой дробилки.

Ключевые слова: сельскохозяйственное и пищевое машиностроение, молотки, молотковые дробилки, ударно-раскалывающее измельчение.

Введение

В современных условиях Казахстана приоритетным является создание условий для развития собственного сельскохозяйственного и пищевого машиностроения. Казахстан как страна с высоким потенциалом развития животноводства, птицеводства и рыбоводства имеет большие возможности для развития переработки продукции животного происхождения. Перспективным является массовая, промышленная переработка отходов животного происхождения, используемых широко для производства кормов [1-4]. При переработке отходов животного происхождения возникает острая необходимость в его измельчении. Существенным и актуальным вопросом при этом становится обеспечение дробилок эффективными рабочими элементами – молотками, способствующими получению качественной продукции с повышенными технико-экономическими показателями.

Результаты исследований

Основой конструктивных решений при расчете и разработке ударно-раскалывающих молот-

ков, являющихся главными элементами для мелкого измельчения, а также выявления основных факторов, влияющих на процесс ударно-раскалывающего измельчения в производстве кормов из отходов животного происхождения является пятый (V) уровень иерархической структуры системного анализа [5-7].

Условия, в которых производится мелкое измельчение, для каждого способа различны, поэтому в зависимости от этих условий различен и характер взаимодействия твердых тел со средой, и, вследствие этого, – и эффекты, вызываемые влиянием среды. Следует отметить, что измельчение кормов из отходов животного происхождения небольших размеров производится в один цикл, т.е. без предварительных стадий дробления. Интенсификация и эффективность процесса ударно-раскалывающего измельчения в производстве кормов из отходов животного происхождения определяется принципом действия и особенностями конструкции как молотков, так и дробилки в целом. В связи с этим представляется уместным систематизация основных приемов ударно-раскалывающего измельчения в производстве кормов

из отходов животного происхождения.

Первым параметром, характеризующим V уровень иерархии системного анализа процесса ударно-раскалывающего измельчения в производстве кормов из отходов животного происхождения, являются конструктивные особенности молотковой дробилки (КОМД), структурная схема которой представлена в соответствии с рисунком 1.

Здесь следует понимать работу и мощность источника энергии (ИЭ), работу механической обработки (РМО), требуемой для измельчения, перемещения поступающих для измельчения частей сырья (ПЧРС), циклического круговорота измельчаемых частиц (ЦКИЧ), их многократного соударения и отскакивания во внутреннем объеме дробилки (СИО); работу, необходимую для уноса готовых измельченных частиц из молотковой дробилки (УИЧ); воздушно-вихревые потоки, приносимые интенсивным динамическим движением молотков и объектов измельчения (ВВПМиОИ). Представленные явления образуют потоки измельчаемых частей и частиц во внутреннем объеме молотковой дробилки, которые образуют поля ударов, раскалывания, соударения, взаимодействия и распределения частиц (ПУРСВРЧ) во вну-

треннем объеме молотковой дробилки, где происходит интенсивное движение частей и частиц измельчаемого материала, их взаимодействие и соударение между собой, а также о стенки и рабочие элементы внутренней конструкции молотковой дробилки, таким образом воздушно-вихревые течения в молотковой дробилке (ВВТМД) значительно влияют на распределение частей и частиц по внутреннему объему молотковой дробилки (РЧиЧОМД), на качество измельчения, то есть гранулометрический состав частиц (ГСЧ), на время измельчения частиц сырья в молотковой дробилке (ВИЧСМД), на производительность кормов (ПМКМ), энергоемкость дробилки (ЭМД).

Основным же параметром, характеризующим V уровень иерархии системного анализа процесса ударно-раскалывающего измельчения в производстве кормов из отходов животного происхождения, структурная схема которой представлена в соответствии с рисунком 2, являются конструктивные особенности молотков молотковой дробилки (КОММД). Здесь следует понимать работу, затрачиваемую на вращение молотков (ВМ), требуемое для создания ударов молотков (УМ) об объекты измельчения; работу, необходимую для внедрения и раскалывания объектов измельчения

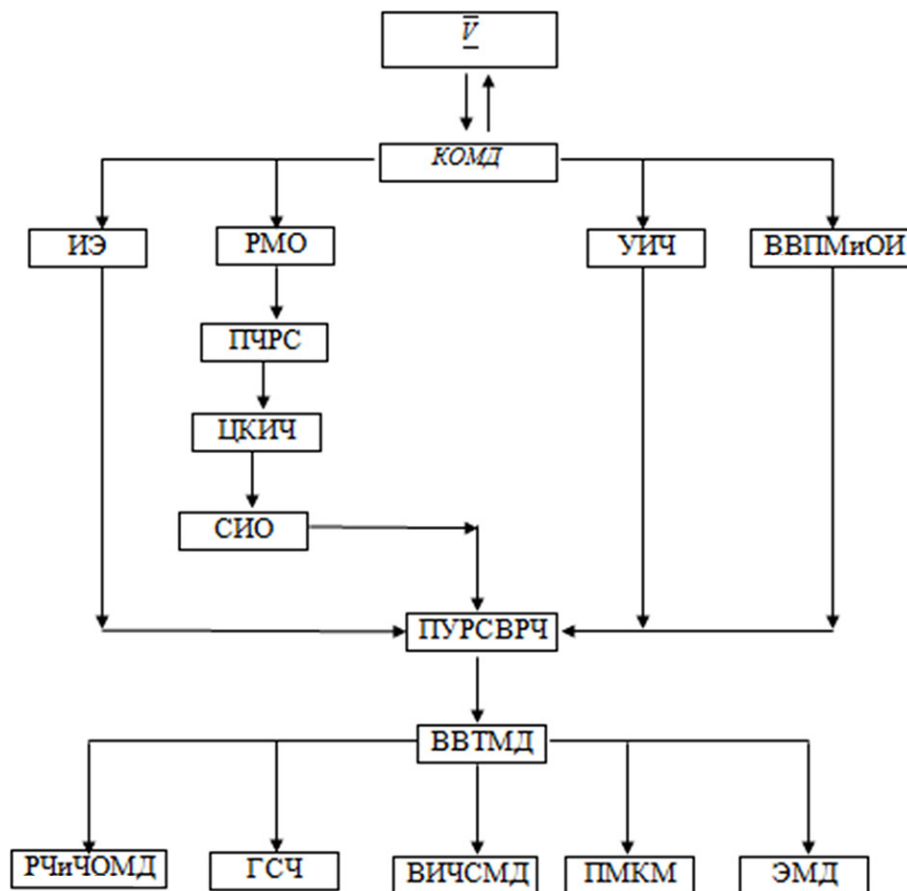


Рисунок 1 – Структурная схема V уровня иерархии системного анализа процесса ударно-раскалывающего измельчения в производстве кормов из отходов животного происхождения, акцентирующей конструктивные особенности молотковой дробилки

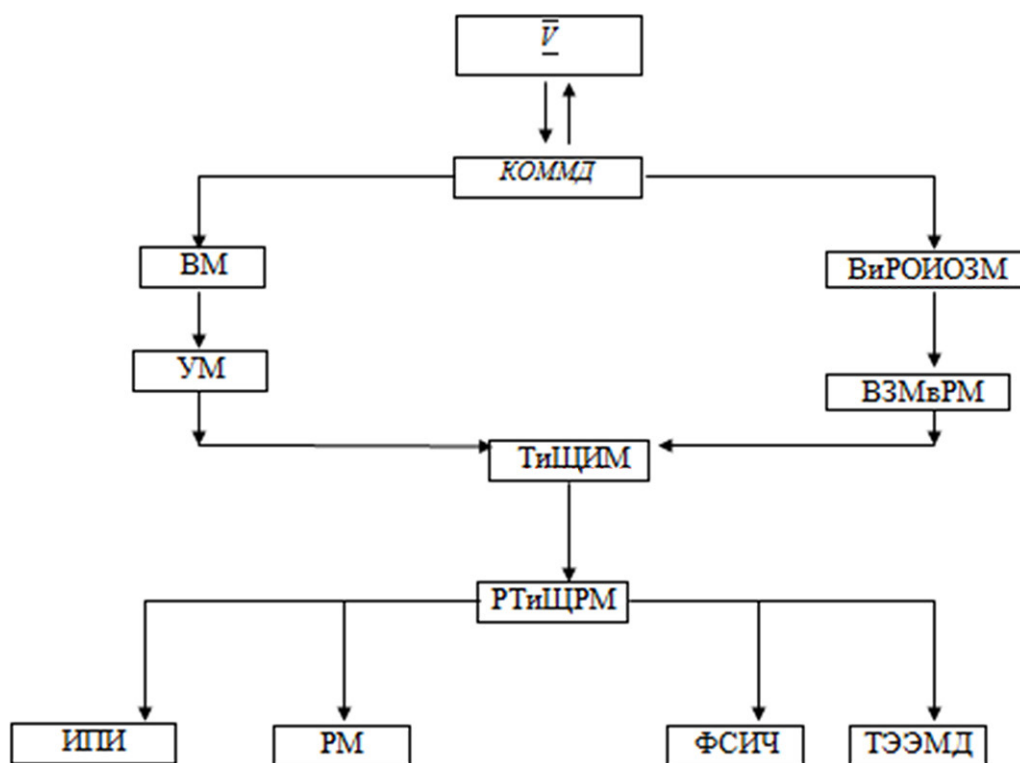


Рисунок 2 – Структурная схема V уровня иерархии системного анализа процесса ударно-раскалывающего измельчения в производстве кормов из отходов животного происхождения, акцентирующей конструктивные особенности молотков

острыми зубьями молотков (ВиРОИОЗМ) с внедрением зубьев молотка в раздрабливаемый материал (ВЗМвРМ) под действием острых граней зубьев молотка. Представленные явления образуют трещины и щели в частях и частицах измельчаемого материала (ТиЩИМ), далее происходит рост трещин и щелей в раздрабливаемом материале (РТиЩРМ) до момента отделения одной частицы материала от другой, что значительно влияет на интенсификацию процесса измельчения (ИПИ), работоспособность молотков (РМ), фракционный состав измельченных частиц (ФСИЧ) и технико-экономическую эффективность молотковой дробилки (ТЭЭМД).

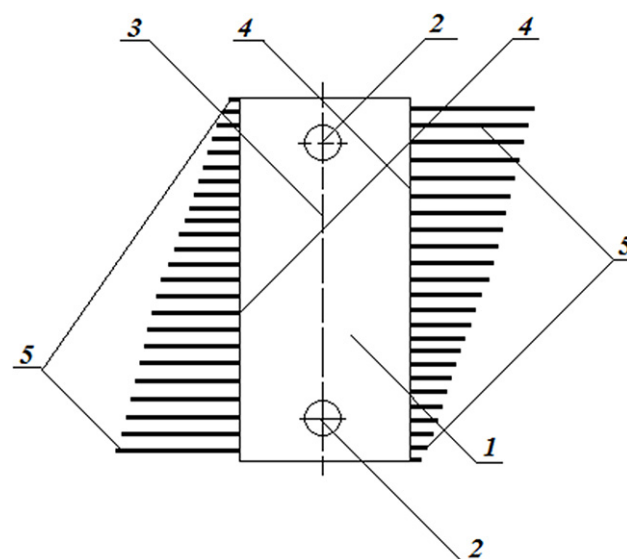
В результате проведенного системного анализа процесса ударно-раскалывающего измельчения в производстве кормов из отходов животного происхождения выяснено, что основными характеристиками, приводящими к совершенствованию молотков, являются:

- сокращение времени образования трещин и щелей в раскалывающихся частицах кормов из отходов животного происхождения;

- изменение конструкции молотка путем образования зубчатой поверхности по внешней поверхности молотка, что позволит интенсифицировать процесс раскалывания измельчаемых частиц.

В результате проведения исследований нами разработаны ударно-раскалывающие молотки

(рисунки 3-5). Молоток в соответствии с рисунком 3 обеспечен стержнями, что повышает работо-



- 1 – молоток для дробления и измельчения;
- 2 – отверстия для подвешивания молотка на ось;
- 3 – продольная ось симметрии; 4 – рабочие участки по двум поверхностям прямоугольного молотка;
- 5 – острозубчатые стержни различной длины

Рисунок 3 – Молоток для дробления и измельчения (патент № 4754)

способность дробилки. Оригинальность молотка подтверждена патентом [8].

Конструктивное выполнение молотка для измельчения (рисунок 4) позволяет осуществить рост продуктивности по измельчаемому материалу.

Зубчато-гребенчатый молоток (рисунок 5) работает следующим образом. В процессе работы поступающий материал для измельчения, соударяясь с сверхтвердыми зубцами-гребенками 4 вращающихся молотков 1, интенсивно измельчается. В процессе работы молотка и изнашивания его рабочей поверхности 3 меняется рабочая поверхность молотка путем смены отверстия 2 для шарнирного подвешивания молотка.

В теории удара приняты такие постулаты, как время действия ударных сил бесконечно мало, а импульс, полученный телом в результате удара, имеет конечную величину [9]. В соответствии с рисунком 6 ударная сила выглядит в форме холма, а верхняя точка равняется наибольшему показателю данной силы.

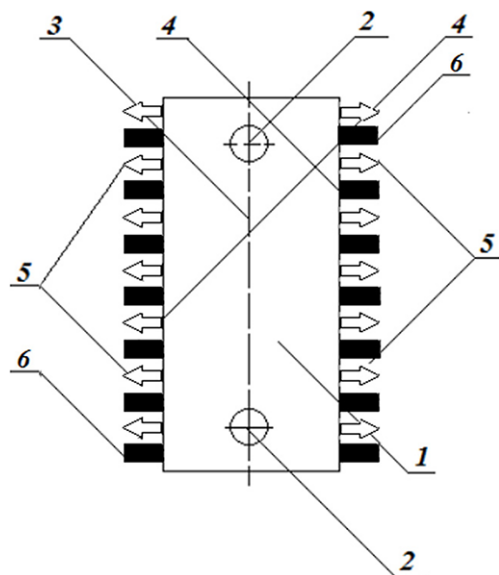
В результате исследования ударного раскалывания возможно применить закон изменения количества движения точки, записываемый в виде основного уравнения удара [11]

$$m(u - v) = S,$$

где $v = v_k(t)$ – скорость точки в начале удара;

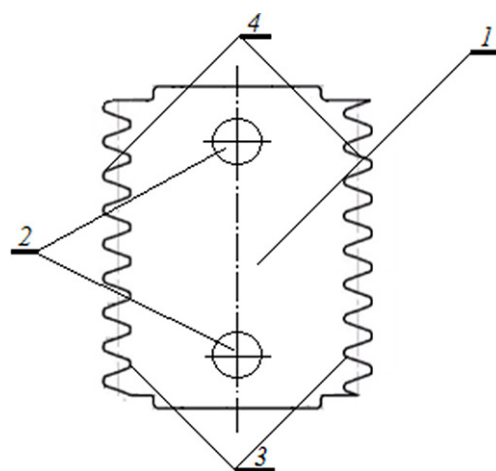
$u = v_k(t + \tau)$ – скорость точки в конце удара;

$S = S_k$ – импульс сил, действующих на точку за



1 – молоток для дробления и измельчения;
2 – отверстия; 3 – продольная ось симметрии;
4 – рабочие участки молотка; 5 – закаленные
остроконечные кромки; 6 – закаленные
прямоугольные бойки

Рисунок 4 – Молоток для дробления
и измельчения (заявка на патент,
рег. № 2021/0375.1)



1 – зубчато-гребенчатый молоток; 2 – отверстия;
3 – рабочие поверхности по двум поверхностям
молотка; 4 – сверхтвердые зубцы-гребенки

Рисунок 5 – Зубчато-гребенчатый молоток
молотковой дробилки (заявка на патент,
рег. № 2021/0722.2)

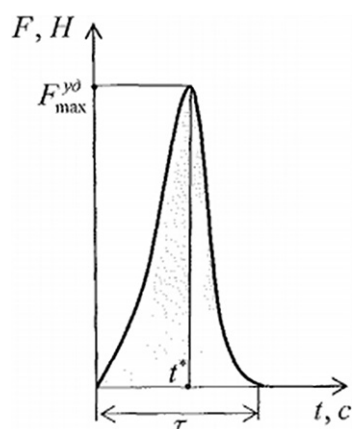


Рисунок 6 – Проекционное изображение ударной
силы [10]

время удара.

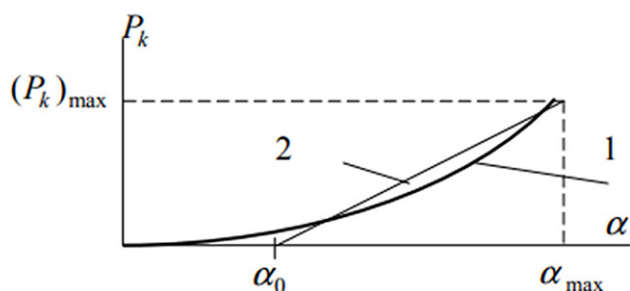
В соответствии с рисунком 7 представлена диаграмма нелинейной зависимости ударной силы P_k в зависимости от сближения α , когда ударная сила опишется по Герцу зависимостью $P_k = k\alpha^{3/2}$ [12].

Работа взаимодействующей силы (модель Герца)

$$\int_0^{\alpha_{\max}} P_k d\alpha = \int_0^{\alpha_{\max}} k\alpha^{3/2} \cdot d\alpha = \frac{2}{5} k\alpha_{\max}^{5/2}.$$

Работа взаимодействующей силы (модель Бидермана В.Л. – Малюковой М.Н.) [13]

$$\int_{\alpha_0}^{\alpha_{\max}} P_k d\alpha = \frac{1}{2} (P_k)_{\max} \cdot (\alpha_{\max} - \alpha_0).$$



1 – модель Герца, 2 – модель Бидермана В.Л. – Малюковой М.Н.

Рисунок 7 – Диаграммы, характеризующие изменение взаимодействующей силы P_k от сближения

Измельчение ударно-зубчатыми молотками можно описать критерием Ньютона [14], характеризующего отношение работы внешних сил к кинетической энергии тела, и следующего из второго закона Ньютона

$$Ne = U/pV_3^2B_3^2,$$

где U – сила усилия зуба молотка на измельчаемые частицы, Н; p – плотность измельчаемых частиц, кг/м³; V_3 – скорость движения головки зуба молотка, м/с; B_3 – расстояние от оси вращения ударно-зубчатого молотка до точки контакта головки зуба молотка с измельчаемыми частицами,

мм.

В начале проникновения зубьев молотка в измельчаемые частицы, усилие на зубьях молотка моментально возрастает, и в измельчаемых частицах образуются трещины и щели. При последующем проникновении зубьев молотка в измельчаемые частицы, усилие на зубьях молотка уменьшается при увеличении трещин и щелей до начала разделения одной частицы от другой.

Выводы

Элементарные акты разрушения осуществляются созданием в частицах предельных напряжений сдвига путем удара с одновременным раскалыванием. Кинетическая энергия сообщается непосредственно молоткам и зубьям молотков дробилки. Исходя из вышеизложенного эффективность работы молотковой дробилки, экономичность и область дисперсности, в которой наблюдаются лучшие показатели, зависят от ряда выявленных факторов, имеющих определенную взаимосвязь, особенно от наличия зубьев на молотках.

Данная научная работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта ИРН № АР09562082 «Создание ударно-зубчатых молотков для интенсивного измельчения кормов из отходов животного происхождения», финансируемого в рамках грантового финансирования от Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности: Учебник. – СПб: ГИОРД, 2010. – 736 с.: ил.
- Федоренко И.Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов. – М.: Форум, 2015. – 176 с.: ил.
- Лисицын А.Б., Кузнецова О.А., Горбатов С.А. и др. История мясной промышленности России: Монография. Т. 1. – М.: ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова, 2021. – 296 с.
- Лисицын А.Б., Кузнецова О.А., Горбатов С.А. и др. История мясной промышленности России: Монография. Т. 2. – М.: ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова, 2021. – 392 с.
- Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии: основы стратегии: Монография. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 499 с.
- Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Арутюнов С.Ю. Системный анализ процессов химической технологии: измельчение и смешение: Монография. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 440 с.
- Кафаров В.В., Дорохин И.Н., Арутюнов С.Ю. Системный анализ процессов производства химической технологии. Процессы измельчения и смешения сыпучих материалов. – М.: Наука, 1985. – 440 с.
- Искаков Р.М., Мулдашева М.Г. Молоток для дробления и измельчения. Патент Республики Казахстан на полезную модель № 4754, бюл. № 9 от 05.03.2020 г.
- Кочетков А.В., Федотов П.В. Некоторые вопросы теории удара / Институт Государственного управления, права и инновационных технологий (ИГУПИТ) Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» №5 2013 <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-voprosy-teorii-udara/viewer>
- Лейбович М.В. Теория удара в задачах и примерах. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та., 2016. – 236 с.
- Юдин В.А. Дополнительные лекции по теоретической механике. – Новосибирск: Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун. (Сибстрин), 2017. – 80 с.
- Манжосов В.К. Модели продольного удара: Монография. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2006. – 160 с.
- Бидерман В. Л. Расчеты на ударную нагрузку / В.Л. Бидерман // Расчеты на прочность в машиностроении. – М.: Машгиз, 1959. – Т. 3. – С. 479-580.
- Bol'shaya entsiklopediya nefti i gaza. 2 yanvarya 2019 g. [Big encyclopedia of oil and gas. January 2, 2019] [Electronic resource]. – <https://ngpedia.ru/id120712p1.html>.

Балғалы ұсатқышта соққы-бөлу ұнтақтауын жүйелі талдау

^{1*}**ИСКАКОВ Руслан Маратбекұлы**, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, rus.iskakov79@mail.ru,

¹**ИСЕНОВ Сұлтанбек Сансызбайұлы**, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, isenov_sultan@mail.ru,

¹**ЗАИЧКО Григорий Анатольевич**, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, gzaichko@mail.ru,

¹С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан, 010011, Нұр-Сұлтан, Жеңіс даңғылы, 62,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақаланың мақсаты – ұсатқыштың топсалы балғаларының жұмысқа қабілеттілігін жақсартуға әкелетін негізгі сипаттамаларды анықтау. Жем өндірісі, әсіресе жануарлардың қалдықтарын өңдеу, ұсатқыштарды жетілдіруді талап етеді. Бұл мәселенің шешімі соққыға бөлінетін тегістеудің жүйелі талдауы мен балғаның тиімді конструкцияларын жасаудың арқасында мүмкін болады. Ұрғыш пен балғаның конструктивтік ерекшеліктерін ескере отырып, соққы, бөліну, соқтығысу мәселелері жүйелік талдаудың иерархиясының V-ші деңгейінің құрылымдық диаграммаларында қарастырылады. Нәтижесінде, бөлшектеу бөлшектерінде жарықтар мен жарықтардың пайда болу уақытын қысқарту арқылы балғаларды жақсарту, сондай-ақ, сыртқы бетінде тісті бетті қалыптастыру арқылы балғаның конструкциясын өзгерту қажет екені анықталды. Ұсақталған бөлшектерді бөлу процесін күшейтетін балға. Зерттеу процесінде ұсақталған бөлшектердегі крекингтің қарқындылығымен тиімділікті арттыруға бағытталған балғалардың жаңа конструкциялары әзірленді. Балға ұсақтағыштың тиімділігі балғалы ұсақтағыштың балғаларында тістердің болуына байланысты екендігі анықталды.

Кілт сөздер: ауылшаруашылық және азық-түлік машинажасау, балғалар, балғалы ұсатқыштар, соққы-бөлу ұнтақтауы.

System Analysis of Impact-Splitting Grinding in a Hammer Mill

^{1*}**ISKAKOV Ruslan**, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, rus.iskakov79@mail.ru,

¹**ISENOV Sultanbek**, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, isenov_sultan@mail.ru,

¹**ZAICHKO Grigory**, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, gzaichko@mail.ru,

¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Kazakhstan, 010011, Nur-Sultan, Zhenis Avenue, 62,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of the article is to identify the main characteristics leading to the improvement of the operability of the crusher's hinged hammers. The production of feed and especially the processing of animal waste requires the improvement of crushers. The solution to this problem is possible due to the systematic analysis of impact-splitting grinding and the development of effective hammer designs. The issues of impact, splitting, impact are considered in the structural diagrams of the V level of the hierarchy of systems analysis, considering the design features of the crusher and hammers. As a result, it was revealed that it is advisable to improve hammers by reducing the time of formation of cracks and cracks in the splitting particles, as well as by changing the design of the hammer by forming a toothed surface on the outer surface of the hammer, which will intensify the process of splitting the crushed particles. In the process of research, new designs of hammers have been developed, aimed at increasing the efficiency with the intensification of cracking in the crushed particles. It was revealed that the efficiency of the hammer crusher depends on the presence of teeth on the hammers of the hammer crusher.

Keywords: agricultural and food machinery, hammers, hammer mills, impact-splitting grinding.

REFERENCES

1. Ivashov V.I. Tekhnologicheskoye oborudovaniye predpriyatiy myasnoy promyshlennost: Uchebnik. – Saint Petersburg: GIORD, 2010. – 736 p.: il.
2. Fedorenko I.YA. Tekhnologicheskiye protsessy i oborudovaniye dlya prigotovleniya kormov. – Moscow: Forum, 2015. – 176 p.: il.
3. Lisitsyn A.B., Kuznetsova O.A., Gorbato S.A. i dr. Istoriya myasnoy promyshlennosti Rossii: Monografiya. T. 1. – Moscow: FNTS pishchevykh sistem im. V.M. Gorbato, 2021. – 296 p.
4. Lisitsyn A.B., Kuznetsova O.A., Gorbato S.A. i dr. Istoriya myasnoy promyshlennosti Rossii: Monografiya. T. 2. – Moscow: FNTS pishchevykh sistem im. V.M. Gorbato, 2021. – 392 p.
5. Kafarov V.V., Dorokhov I.N. Sistemnyy analiz protsessov khimicheskoy tekhnologii: osnovy strategii: Monografiya. – 2-ye izd., pererab. i dop. – Moscow: Izdatel'stvo Yurayt, 2018. – 499 p.
6. Kafarov V.V., Dorokhov I.N., Arutyunov S.YU. Sistemnyy analiz protsessov khimicheskoy tekhnologii: izmel'cheniye i smesheniye: Monografiya. – 2-ye izd., pererab. i dop. – Moscow: Izdatel'stvo Yurayt, 2018. – 440 p.
7. Kafarov V.V., Dorokhin I.N., Arutyunov S.YU. Sistemnyy analiz protsessov proizvodstva khimicheskoy tekhnologii. Protsessy izmel'cheniya i smesheniya sypuchikh materialov. – Moscow: Nauka, 1985. – 440 p.
8. Iskakov R.M., Muldasheva M.G. Molotok dlya drobleniya i izmel'cheniya. Patent Respubliki Kazakhstan na poleznuyu model', no. 4754, byul. no. 9 ot 05.03.2020 g.

9. Kochetkov A.V., Fedotov P.V. Nekotoryye voprosy teorii udara / Institut Gosudarstvennogo upravleniya, prava i innovatsionnykh tekhnologiy (IGUPIT) Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIYe», no. 5, 2013, <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-voprosy-teorii-udara/viewer>
10. Leybovich M.V. Teoriya udara v zadachakh i primerakh. – Khabarovsk: Izd-vo Tikhookean. gos. un.-ta., 2016. – 236 p.
11. Yudin V.A. Dopolnitel'nyye lektsii po teoreticheskoy mekhanike. – Novosibirsk: Novosib. gos. arkhitektur-stroit. un. (Sibstrin), 2017. – 80 p.
12. Manzhosov V.K. Modeli prodol'nogo udara: Monografiya. – Ul'yanovsk: Ul'yanovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet, 2006. – 160 p.
13. Biderman V. L. Raschety na udarnuyu nagruzku / V.L. Biderman // Raschety na prochnost' v mashinostroyenii. – Moscow: Mashgiz, 1959. – T. 3. – pp. 479-580.
14. Bol'shaya entsiklopediya nefti i gaza. 2 yanvarya 2019 g. [Big encyclopedia of oil and gas. January 2, 2019] [Electronic resource]. – <https://ngpedia.ru/id120712p1.html>.