

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВИБРАЦИОННЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ КОРМОВОГО ЗЕРНА

MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF VIBRATIONAL CRUSHERS OF FODDER GRAIN

Ключевые слова: дробление кормового зерна, вибрационные рабочие органы, морфологический анализ, принятие решений.

Вибрационные дробилки широко применяются в горнодобывающей и строительной отраслях промышленности. Однако все эти конструкции не способны обеспечить дробление кормового зерна в связи с особыми его технологическими свойствами. Немногочисленные исследования использования вибраций при дроблении зерна пока не привели к созданию дробилки, в полной мере отвечающей потребностям животноводства. Для структурного анализа и синтеза вибрационных дробилок кормового зерна нами применен морфологический метод. Для совокупности (множества) конструкций вибрационных дробилок фуражного зерна составлены морфологическая таблица и морфологическая матрица, включающие около полумиллиона вариантов исполнения данной машины. На основе морфологической матрицы был проведен анализ известных конструкций дробилок и синтезировано новое устройство, обеспечивающее повышение дробящего усилия и производительности. Дальнейшая работа по выявлению эффективных конструкций дробилок фуражного зерна, находящихся в морфологической матри-

це, должна вестись с привлечением знаний экспертов и методов нечеткой многокритериальной оптимизации.

Keywords: fodder grain crushing, vibrational working tools, morphological analysis, decision-making

Vibration crushers are widely used in the mining and construction industries. However, all these designs are not able to ensure crushing of fodder grain due to special processing properties of grain. Few studies on the use of vibration in grain crushing have not yet led to the development of a crusher that fully meets the needs of livestock industry. The morphological method was used for structural analysis and synthesis of vibrational crushers of fodder grain. For the totality (variety) of the designs of vibrational crushers of fodder grain, a morphological table and a morphological matrix including about half a million variants of the performance of this machine are made. On the basis of the morphological matrix, the analysis of the known crusher designs was carried out and a new device was synthesized providing an increase of crushing effort and performance. Further work to identify efficient grain crushers in the morphological matrix should be carried out with the knowledge of experts and methods of fuzzy multi-criterion optimization.

Федоренко Иван Ярославович, д.т.н., проф. каф. механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 203-271. E-mail: ijfedorenko@mail.ru.

Левин Алексей Михайлович, к.т.н., ген. директор, ООО «Сибирская технологическая компания», г. Барнаул. E-mail: Lev-alex@mail.ru.

Табаев Алексей Викторович, инженер, ООО «Промышленное решение», г. Ставрополь. E-mail: Prom_resh@mail.ru.

Fedorenko Ivan Yaroslavovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Agricultural Production Mechanization and Processing, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 203-271. E-mail: ijfedorenko@mail.ru.

Levin Aleksey Mikhaylovich, Cand. Tech. Sci., General Director, ООО «Sibirskaya tekhnologicheskaya kompaniya», Barnaul. E-mail: Lev-alex@mail.ru.

Tabayev Aleksey Viktorovich, Engineer, ООО «Promyshlennoye resheniye», Stavropol. E-mail: Prom_resh@mail.ru.

Введение

Вибрационные дробилки широко применяются в горнодобывающей и строительной отраслях промышленности.

Преимущества вибрационных дробильных машин обусловлены следующими принципиальными особенностями механизма разрушения [1, 2]:

- куски материала подвергаются силовому воздействию во всей объемной массе;
- за время прохождения зоны дробления нагружение кусков происходит многократно и быстротечно;
- куски подвергаются комбинированному нагружению, включающему деформации сжатия, сдвига, изгиба и кручения;
- в промежутках между циклами нагружения куски приобретают относительную подвижность, обеспечивающую их взаимную переориентацию, своевременное удаление из слоя частиц готовой крупности;
- разрушающие нагрузки регулируются в зависимости от прочности и выносливости дефектных зон.

Однако все эти конструкции не способны обеспечить измельчение фуражного зерна в связи с особыми его технологическими свойствами. Немногочисленные исследования использования вибраций при дроблении зерна пока не привели к созданию измельчителя, в полной мере отвечающего потребностям животноводства [3].

Поэтому **целью** исследований является морфологический анализ конструкций вибрационных измельчителей фуражного зерна на предмет поиска рациональной конструктивной схемы.

Метод исследования

Морфологический метод (анализ) предусматривает обобщение информации в рамках специальной матрицы, в которой аккумулируется огромное количество возможных решений.

В матрице проставляются значения множества переменных, существенных характеристик того или иного объекта как уже достигнутых, так и теоретически возможных в перспективе.

Морфологический метод организует мышление таким образом, что генерируются такие идеи, которые при несистематизированном подходе ускользают от внимания.

Данный метод целесообразно применять при решении конструкторских задач концептуального плана: при поиске облика различных сельскохозяйственных машин и механизмов, поиске структурных, компоновочных, схемных решений и т.д.

Рабочие процедуры морфологического метода:

- 1) точная формулировка решаемой проблемы и определение ее границ;
- 2) определение важнейших характеристик, параметров объектов;
- 3) построение «морфологического множества»: двухмерной матрицы («морфологического ящика») или трехмерной матрицы.

Далее, принимая те или иные значения параметров и их состояний (в каждой строчке матрицы), можно получить различные варианты технического исполнения того или иного устройства [4].

Рассматриваемый морфологический метод основан на комбинаторике. Суть его состоит в том, что в интересующем изделии или объекте выделяют группу основных конструктивных или других признаков. Для каждого признака выбирают альтернативные варианты, т.е. возможные варианты его исполнения или реализации. Комбинируя их между собой, можно получить множество различных решений, в том числе представляющих практический интерес.

Из изложенного видно, что суть метода заключается в построении морфологической таблицы, заполнении ее возможными альтернативными вариантами и в выборе из всего множества получаемых комбинаций наилучших решений.

Результаты исследований

Анализ большого количества научной и патентной литературы [3-9 и др.] позволил

нам построить морфологическую таблицу (табл. 1) и соответствующую морфологическую матрицу (табл. 2).

Таблица 1

Морфологическая таблица

Классификационные признаки дробилки	Варианты исполнения					
	1	2	3	4	5	6
А. – вид воздействия не измельчаемый	Сжатие	Сдвиг	Сжатие с одновременным сдвигом	Истирание	Плющение	Резание
Б. – вид вибраций рабочих органов	Прямолинейные вертикальные	Прямолинейные горизонтальные	Прямолинейные наклонные	Круговые в вертикальной плоскости	Круговые в горизонтальной плоскости	Круговые наклонные
В. – число полостей (камер) измельчения	1	2	3	4	5	6
Г. – направление полостей в пространстве	Вертикальное	Горизонтальное	Наклонное	Вертикальное криволинейное	Горизонтальное криволинейное	Наклонное криволинейное
Д. – отношение числа активных элементов рабочих органов к их общему числу	1/1	1/2	2/2	1/3	2/3	3/3
Е. – число вибровозбудителей	1	2	3	4	5	6
Ж. – тип вибровозбудителей	Эксцентрик	Центробежный (дебалансный)	Маятниковый	Два центробежных самосинхронизирующихся	Три центробежных самосинхронизирующихся	Четыре центробежных самосинхронизирующихся
З. – характер соединения активных и пассивных элементов рабочих органов	Шарнирное	При помощи пружин	При использовании торсионов	По схеме двойного маятника	По схеме опрокинутого маятника	По схеме маятника капицы
И. – вид рабочих органов	Жесткие плоские поверхности	Жесткие Криволинейные поверхности	Пуансоны-решетки	Терки (типа чешуйчатых решет)	Молотки	Ножи

Морфологическая матрица

A1	A2	A3	A4	A5	A6
Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6
В1	В2	В3	В4	В5	В6
Г1	Г2	Г3	Г4	Г5	Г6
Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6
Е1	Е	Е3	Е4	Е5	Е6
Ж1	Ж2	Ж3	Ж4	Ж5	Ж6
З1	З2	З3	З4	З5	З6
И1	И2	И3	И4	И5	И6



Известные решения Новые решения Нереализуемые решения

Рис. Морфологическое множество решений

Морфологическая матрица содержит как уже известные варианты технических решений (на основе которых матрица и строилась), так и множество новых (неизвестных) технических решений. Также в матрице содержатся нереализуемые технические решения (рис.).

Выбрать из морфологической таблицы наиболее приемлемые или эффективные комбинации технических решений нелегко из-за большого числа комбинаций. Поэтому сначала оценим число возможных вариантов технических решений, которые можно получить (синтезировать) на основе морфологической таблицы:

$$N = n_1 \cdot n_2 \cdot \dots \cdot n_m,$$

где n – число альтернативных вариантов в столбце;

m – число столбцов.

В нашем случае число вариантов измельчителей составит

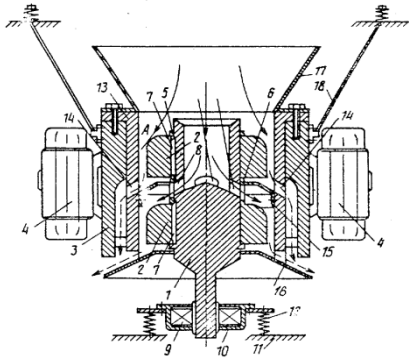
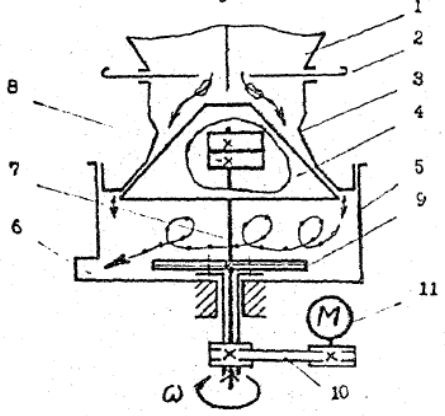
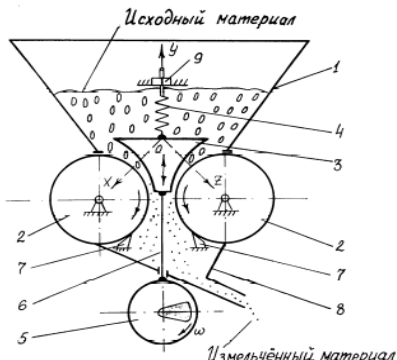
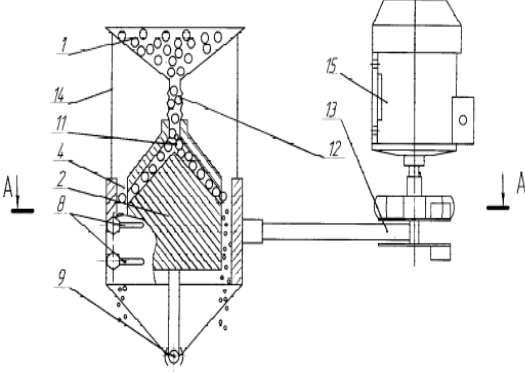
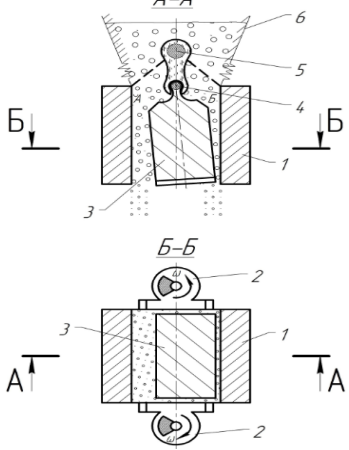
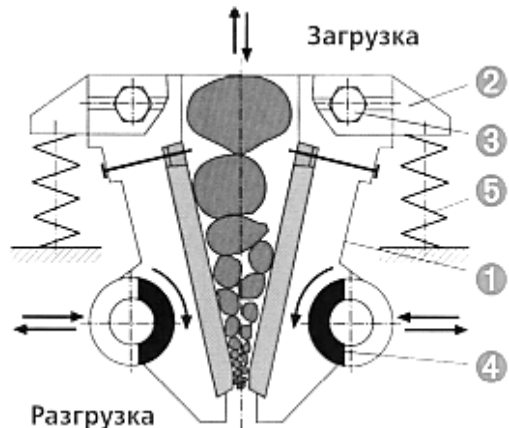
$$N = 9^6 = 531441.$$

Наиболее эффективные технические решения из множества всех возможных вариантов можно выбрать путем последовательного сокращения этого множества за счет исключения неперспективных технических решений. Поскольку вариантов очень много, то эта процедура очень сложна и трудоемка.

Сокращение множества возможных вариантов технических решений можно проводить путем исключения наихудших комбинаций элементов. В морфологической таблице можно последовательно по разным правилам синтезировать (составлять) варианты технических решений и сравнивать их между собой для выбора наилучших. Однако такой способ, несмотря на его простоту, является весьма трудоемким.

Таблица 3

Известные конструктивные реализации вибрационных измельчителей фуражного зерна и их обозначение по морфологической матрице

<p>А3-Б5-В1-Г1-Д1-Е2-Ж2-З5-И1</p> <p>1</p>	<p>А3-Б5-В1-Г3-Д1-Е1-Ж2-З1-И2-</p> <p>2</p>
 <p>А.с. № 1540722 (Алтайский ГАУ)</p>	 <p>Патент № 2031707 (Казанская ГСХА)</p>
<p>А3-Б1-В2-Г3-Д3-Е1-Ж3-З2-И2</p> <p>3</p>	<p>А1-Б2-В2-Г1-Д1-Е1-Ж3-З1-И1-</p> <p>4</p>
 <p>Патент № 2085288 (Алтайский ГАУ)</p>	 <p>Фиг. 1 Патент № 2262984 (Алтайский ГАУ)</p>
<p>А1-Б2-В2-Г1-Д1-Е2-Ж2-З4-И1</p> <p>5</p>	<p>А1-Б4-В1-Г1-Д3-Е2-Ж2-З3-И1-</p> <p>6</p>
 <p>Патент № 2688424 (ООО «Сибирская технологическая компания»)</p>	 <p>Патент № 2228221 (НПК «Механобр-Техника»)</p>

На первом этапе мы анализировали известные технические решения по вибрационному измельчению фуражного зерна (табл. 3). По этим решениям имеются существенные априорные данные, поэтому проведение анализа было облегчено. Так, по конструкциям 2 и 4 были выполнены диссертации, а конструкции 1 и 3 были испытаны на физических моделях. Конструкция 6 выпускается серийно, но на зерне не испытывалась.

Практическим выходом нашего анализа морфологической матрицы явилось техническое предложение вибрационного измельчителя, обозначенное в таблице 3 под номером 5. Оно защищено патентом [9]. Сильной стороной данного измельчителя, построенного по схеме двойного маятника с двумя самосинхронизирующимися дебалансными вибровозбудителями, является большое дробящее усилие. Это позволяет надеяться на повышение производительности устройства, чего не хватает известным вибрационным измельчителям фуражного зерна. Математическое и компьютерное моделирование показывает работоспособность данной конструкции измельчителя [10].

В дальнейшем поиск эффективных конструкций измельчителей фуражного зерна с использованием созданной морфологической матрицы будет продолжен. Однако анализ и отбор нужных конструкций теперь будут проходить при дефиците исходной информации, ее нечеткости и расплывчатости. В этом случае необходимо привлечение знаний экспертов и составление множества Парето.

Методы структурного анализа и синтеза новых технических систем на базе морфологического подхода подробно изложены в работах [11, 12]. Особо следует отметить метод нечеткой многокритериальной оптими-

зации, предложенный американскими математиками Беллманом и Заде, который успешно апробирован при выборе технологий и оборудования в сельском хозяйстве [13].

Выводы

1. Для совокупности (измельчителей фуражного зерна составлены морфологическая таблица и морфологическая матрица, включающие около полумиллиона вариантов исполнения данной машины.

2. На основе морфологической матрицы был проведен анализ известных конструкций измельчителей и синтезировано новое устройство, обеспечивающее повышение дробящего усилия и производительности.

3. Дальнейшая работа по выявлению эффективных конструкций измельчителей фуражного зерна, находящихся в морфологической матрице, должна вестись с множества) вибрационных привлечением знаний экспертов и методов нечеткой многокритериальной оптимизации.

Библиографический список

1. Вайсберг, Л. А. Вибрационные дробилки. Основы расчета, проектирования и технологического применения / Л. А. Вайсберг, Л. П. Зарогатский, В. Я. Туркин. – Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – 306 с. – Текст: непосредственный.

2. Биленко, Л. Ф. Прогрессивные тенденции в технике и технологии дезинтеграции руд / Л.Ф. Биленко, И.М. Костин. – Текст: непосредственный // Перспективные направления по созданию техники и технологии для переработки минерального и техногенного сырья: Всесоюзная научно-техническая конференция (4-6 марта 1991 г.): сборник статей. – Санкт-Петербург, 1991. – С. 80-86.

3. Федоренко, И. Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов: учебное пособие / И.Я. Федоренко. – Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. – 176 с. – Текст: непосредственный.

4. Федоренко, И. Я. Проектирование технических устройств и систем: принципы, методы, процедуры: учебное пособие / И. Я. Федоренко, А. А. Смышляев. – Москва: ФОРУМ: ИНФРА, 2014. – 320 с. – Текст: непосредственный.

5. А.с. 1540722 (СССР) Инерционная дробилка / И. Я. Федоренко, В. И. Земсков, С. Н. Васильев. – Заявл. 03.11.87; опубл. в Б.И. 1990, № 5. – Текст: непосредственный.

6. Маркин, О. Ю. Разработка вибрационной дробилки для измельчения зерновых материалов с обоснованием параметров и режимов работы: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.01 – Механизация сельскохозяйственного производства / Маркин О. Ю. – Казань, 1997. – 24 с. – Текст: непосредственный.

7. Патент № 2262984 (РФ). Измельчитель зерновых и сыпучих материалов / Федоренко И. Я., Левин А. М., Желтунов М. Г.; заявл. 29.09.03.; опубл. 27.10.05., Бюл. № 30. – Текст: непосредственный.

8. Патент РФ № 2085288 (РФ). Дробилка для зерновых и кусковых материалов / Федоренко И. Я., Белокурченко С. А., Костюк В. А.; заявл. 17.06.1994; опубл. 27.07.1997. – Текст: непосредственный.

9. Патент № 2688424(РФ). Измельчитель зернового материала / Федоренко И.Я., Левин А.М., Табаев А.В.; заявл. 15.02.2018; опубл. 21.05.2019, Бюл. № 15. – Текст: непосредственный.

10. Fedorenko, I., Levin, A., Tabaeв, A. (2019). Dynamic properties of vibration crusher

of feed grain taking into account technological loading. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 341. 012115. 10.1088/1755-1315/341/1/012115.

11. Раков, Д. Л. Структурный анализ и синтез новых технических систем на базе морфологического подхода / Д. Л. Раков. – Москва: ЛИБРОКОМ, 2011. – 159 с. – Текст: непосредственный.

12. Andreychikov A. V.. Metody i intellektual'nye sistemy analiza i sinteza novykh tehnikeskikh resheniy [Methods and intelligent systems of analysis and synthesis new technical solution]. Москва, ООО "Издательский Центр РИОР" Publ., 2019, pt. 1, 544 p. DOI: 10.29039/02005-0 (in Russian).

13. Федоренко, И. Я. Методологические аспекты использования нечеткого моделирования для выбора технологий и оборудования в животноводстве / И. Я. Федоренко. – Текст: непосредственный // Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы Международной научно-практической конференции: в 3 книгах. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2009. – Кн. I. – С. 241-246.

References

1. Vaysberg, L.A. Vibratsionnye drobilki. Osnovy rascheta, proektirovaniya i tekhnologicheskogo primeneniya / L.A. Vaysberg, L.P. Zarogatskiy, V.Ya. Turkin. – Sankt-Peterburg: Izd-vo VSEGEI, 2004. – 306 s.

2. Bilenko, L.F. Progressivnye tendentsii v tekhnike i tekhnologii dezintegratsii rud / L.F. Bilenko, I.M. Kostin // Perspektivnye napravleniya po sozdaniyu tekhniki i tekhnologii dlya pererabotki mineralnogo i tekhnogennogo syr'ya: Vses. nauchn.-tekhnich. konf., 4-6 marta 1991 g.: sbornik stat. – Sankt-Peterburg, 1991. – S. 80-86.

3. Fedorenko, I.Ya. Tekhnologicheskie protsessy i oborudovanie dlya prigotovleniya kormov: ucheb. posobie / I.Ya. Fedorenko. – Moskva: FORUM: INFRA-M, 2020. – 176 s.
4. Fedorenko, I.Ya. Proektirovanie tekhnicheskikh ustroystv i sistem: printsipy, metody, protsedury: uchebnoe posobie / I.Ya. Fedorenko, A.A. Smyshlyaev. – M.: FORUM: INFRA, 2014. – 320 s.
5. A.s. 1540722 (SSSR) Inertsionnaya drobilka / I.Ya. Fedorenko, V.I. Zemskov, S.N. Vasilev. Zayavl. 03.11.87, opubl. v B.I. 1990. No. 5.
6. Markin, O.Yu. Razrabotka vibratsionnoy drobilki dlya izmelcheniya zernovykh materialov s obosnovaniem parametrov i rezhimov raboty. 05.20.01 – Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. – Kazan, 1997. – 24 s.
7. Pat. No. 2262984 (RF). Izmelchitel zernovykh i sypuchikh materialov / I.Ya. Fedorenko, A.M. Levin, M.G. Zheltunov; Zayavl. 29.09.03., opubl. 27.10.05., Byul. No. 30.
8. Patent RF No. 2085288 (RF). Drobilka dlya zernovykh i kuskovykh materialov / I.Ya. Fedorenko, Belokurenko S.A., Kostyuk V.A. – Zayavl. 17.06.1994; opubl. 27.07.1997.
9. Pat. No. 2688424 (RF). Izmelchitel zernovogo materiala / I.Ya. Fedorenko, A.M. Levin, A.V. Tabaev; zayavl. 15.02.2018, opubl.: 21.05.2019, Byul. No. 15.
10. Fedorenko, I., Levin, A., Tabaev, A. (2019). Dynamic properties of vibration crusher of feed grain taking into account technological loading. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 341. 012115. 10.1088/1755-1315/341/1/012115.
11. Rakov, D.L. Strukturnyy analiz i sintez novykh tekhnicheskikh sistem na baze morfologicheskogo podkhoda / D.L. Rakov. – Moskva: LIBROKOM, 2011. – 159 s.
12. Andreychikov A.V. Metody i intellektualnye sistemy analiza i sinteza novykh tekhnicheskikh resheniy [Methods and intelligent systems of analysis and synthesis new technical solution]. – Moskva: OOO "Izdatelskiy Tsentr RIOR" Publ., 2019, pt. 1, 544 p. DOI: 10.29039/02005-0 (in Russian).
13. Fedorenko, I.Ya. Metodologicheskie aspekty ispolzovaniya nechetkogo modelirovaniya dlya vybora tekhnologiy i oborudovaniya v zhitovnovodstve // Agrarnaya nauka – selskomu khozyaystvu: mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: v 3 kn. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2009. – Kn. 1. – С. 241-246.

