

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.363

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-248-6-64-71

В.Н. Нечаев, А.В. Алёшкин,
П.А. Савиных, А.Н. Шишарина
V.N. Nechaev, A.V. Aleshkin,
P.A. Savinykh, A.N. Shisharina

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДРОБИЛОК КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ПРОГРАММЕ ANSYS CFX

RESULTS OF DETERMINATION OF AERODYNAMIC PARAMETERS OF FEED PREPARATION CRUSHERS IN ANSYS CFX SOFTWARE

Ключевые слова: дробилка зерна, дробилка для получения древесной муки, компьютерная модель, воздушный поток, траектория частиц, гидравлическая мощность, модель турбулентности $k-\varepsilon$.

При производстве комбикормов требуется измельчение зерна, грубых кормов и других его компонентов. Для этого используют молотковые дробилки с пневматической подачей материала, которые не всегда удовлетворяют требованиям сельхозтоваропроизводителей. Применение современных программ численного моделирования процессов и явлений в области динамики жидкостей и газов на этапе создания дробилок позволит определить наиболее рациональные конструктивно-технологические схемы таких устройств. Целью исследования являлось определение влияния конструктивных особенностей дробилок на их аэродинамические параметры путем компьютерного моделирования в программе Ansys CFX. Для определения влияния дополнительных лопаток в программе Ansys CFX разработаны компьютерные модели серийно выпускаемой дробилки зерна ДКР-1 и усовершенствованной дробилки на базе ДКР-1 (с ротором-вентилятором), а для исследования циркуляции воздушного потока в дробилке в зависимости от суммарной площади выходного сита – компьютерные модели дробилки для получения древесной муки при 2 значениях общей площади сита $S_1 = 0,070 \text{ m}^2$ и $S_2 = 0,157 \text{ m}^2$ на выходе из камеры измельчения. Установка дополнительных лопаток приводит к увеличению разряжения на входе в дробилку на 457 Па и обуславливает увеличение гидравлической мощности на 20%. При установке лопаток зона пониженного давления в окрестностях центра ротора более развита, как и зона

повышенного давления на периферии ротора. В целом лопатки участвуют в ударном воздействии на зерновки, как и молотки ротора. Определено, что разность давлений на входе и выходе потока на большем диаметре сита $S_2 = 0,157 \text{ m}^2$ равнялась $p_2 = 578 \text{ Па}$, а при $S_1 = 0,070 \text{ m}^2 - p_1 = 1145 \text{ Па}$. При этом для обеспечения равного объемного расхода $Q = 0,2885 \text{ м}^3/\text{с}$ необходимо увеличивать гидравлическую мощность потока в 2 раза с $N_2 = 166,8 \text{ Вт}$ до $N_1 = 330,3 \text{ Вт}$.

Keywords: grain crusher, wood meal crusher, computer model, air flow, particle trajectory, hydraulic horsepower, turbulence model $k-\varepsilon$.

Compound feed production requires grinding of grain, coarse feeds and other ingredients. To perform these operations, hammer crushers with pneumatic supply of material are used which do not always meet the requirements of agricultural producers. The use of modern programs of numerical modeling of processes and phenomena in the field of dynamics of liquids and gases at the stage of creating crushers will determine the most rational structural and technological schemes of such devices. The research goal was to determine the effect of the design features of crushers on their aerodynamic parameters through computer modeling in the Ansys CFX software. To determine the impact of additional blades, Ansys CFX has developed computer models of a commercially available DKR-1 grain crusher and an advanced DKR-1-based crusher (with a fan rotor), and to study the circulation of air flow in the crusher depending on the total area of the outlet sieve, computer models of the crusher for producing wood meal with two values of the total sieve area $S_1 = 0.070 \text{ m}^2$ and $S_2 = 0.157 \text{ m}^2$ at the outlet of the grinding

chamber. It has been found that the installation of additional blades increases the suction at the crusher inlet by 457 Pa and increases the hydraulic power by 20%. When installing blades, the zone of reduced pressure in the vicinity of the center of the rotor is more developed, as well as the zone of increased pressure at the periphery of the rotor. In general, the blades participate in the impact on

the grains, as do the rotor hammers. It was obtained that the pressure difference at the inlet and outlet of the stream at the larger sieve diameter $S_2 = 0.157 \text{ m}^2$ was equal to $p_2 = 578 \text{ Pa}$, and at $S_1 = 0.070 \text{ m}^2 - p_1 = 1145 \text{ Pa}$. At the same time, to ensure equal volumetric flow rate $Q = 0.2885 \text{ m}^3 \text{ s}$, it is necessary to double the hydraulic flow power from $N_2 = 166.8 \text{ W}$ to $N_1 = 330.3 \text{ W}$.

Нечаев Владимир Николаевич, к.т.н., доцент, ГБОУ ВО Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, г. Княгинино, Нижегородская обл., Российская Федерация, e-mail: nechaev-v@list.ru.

Алёшкин Алексей Владимирович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация, e-mail: aleshkin.a.v@mail.ru.

Савиных Пётр Алексеевич, д.т.н., профессор, гл. науч. сотр., зав. лабораторией механизации животноводства, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, г. Киров, Российская Федерация, e-mail: peter.savinyh@mail.ru.

Шишарина Анастасия Николаевна, ст. преподаватель, ГБОУ ВО Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, г. Княгинино, Нижегородская обл., Российская Федерация, e-mail: lustra-alisa@rambler.ru.

Nechaev Vladimir Nikolaevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation, e-mail: nechaev-v@list.ru.

Aleshkin Aleksey Vladimirovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Vyatka State University, Kirov, Russian Federation, e-mail: aleshkin.a.v@mail.ru.

Savinykh Petr Alekseevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chief Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation, e-mail: peter.savinyh@mail.ru.

Shisharina Anastasiya Nikolaevna, Asst. Prof., Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation, e-mail: lustra-alisa@rambler.ru.

Введение

Одной из основных технологических операций при производстве комбикормов является измельчение его компонентов, осуществляемое чаще всего с помощью молотковых дробилок различной конструкции и пропускной способности [1-4]. На мощностях порядка 20 отечественных заводов-изготовителей наложен выпуск соответствующего оборудования, из которого особое место, например, из-за ненадобности загрузочных и разгрузочных транспортеров, занимают дробилки с пневматической подачей материала [4]. Эффективность таких дробилок, определяемая КПД, удельными энергозатратами, качеством готового продукта, в большей степени зависит от организации воздушного потока в рабочей камере устройства. В настоящее время изучению данной проблемы посвящено значительное количество научных работ теоретического и экспериментального характера [5, 6], что подтверждает ее актуальность. В свою очередь, в современных условиях развития уровня техники на начальном этапе разработки новых технических средств широко применяются программы численного моделирования процессов и явлений в области динамики жидкостей и газов. Одной из таких программ

является Ansys, в которой заложены усредненные по Рейнольду уравнения движения сплошной среды [5]. Поиску рациональной конструктивно-технологической схемы дробилок с пневматической подачей материала в такой программе посвящена данная работа.

Цель исследования – определение влияния конструктивных особенностей дробилок на их аэродинамические параметры путем компьютерного моделирования в программе Ansys CFX.

Задачи:

- исследовать влияние дополнительных лопаток на аэродинамические параметры дробилки;
- исследовать циркуляции воздушного потока в дробилке в зависимости от суммарной площади выходного сита.

Объекты и методы

В качестве объекта исследования выступали компьютерные модели серийно выпускаемой дробилки зерна ДКР-1, усовершенствованной дробилки на базе ДКР-1 (с ротором-вентилятором) [7], а также разработанной дробилки для получения древесной муки в качестве кормовой добавки [8].

Моделирование течения воздушного потока в дробилках проводилось в программе Ansys с оболочкой Workbench. Для решения первой задачи исследования сравнивались два молотковых ротора с дополнительными лопатками и без них (рис. 1 а, б).

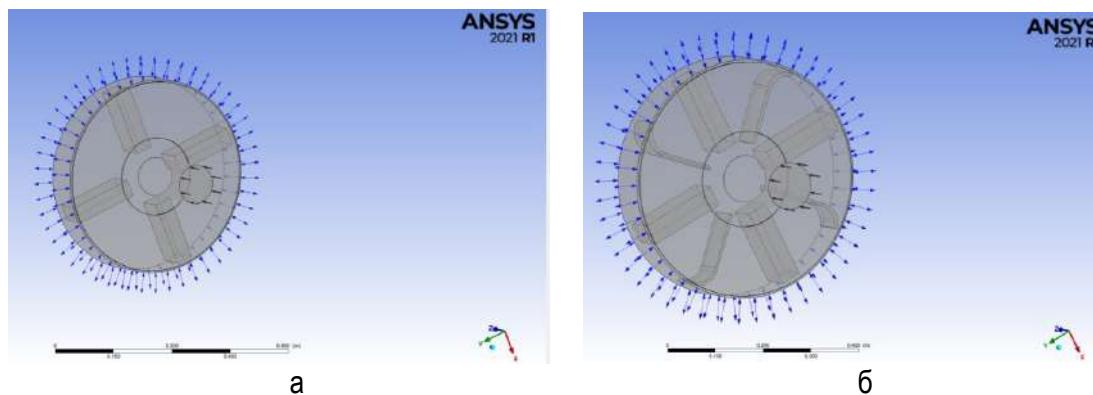
При решении второй задачи сравнивались параметры воздушного потока в рабочей камере дробилки при двух внешних диаметрах выходного окна с равными внутренними диаметрами, т.е. при двух значениях общей площади сита $S_1 = 0,070 \text{ м}^2$ и $S_2 = 0,157 \text{ м}^2$ на выходе из камеры измельчения (рис. 2).

Во всех исследуемых случаях построены геометрические модели роторов с четырьмя пакетами молотков, осевым вводом воздушно-продуктового слоя. Однако в первой задаче вывод готового продукта осуществлялся по пери-

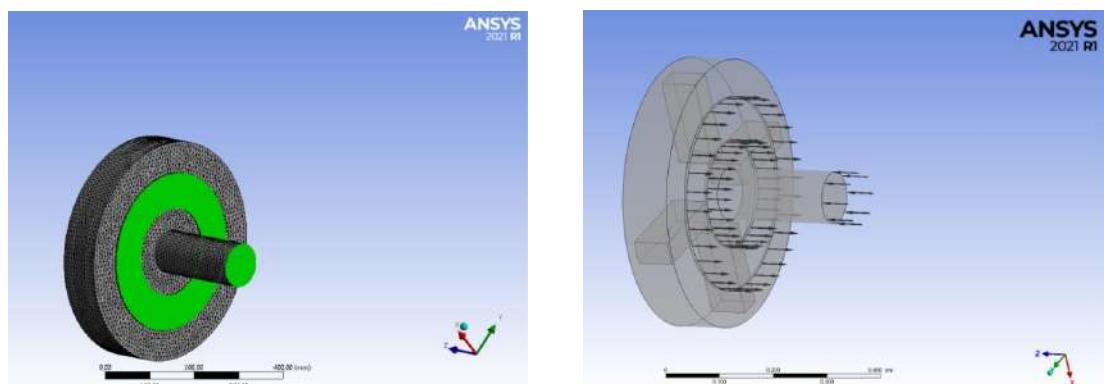
ферии ротора, а во второй предусмотрен осевой вывод готового продукта на большем диаметре камеры измельчения.

Задавались одинаковые значения исходных данных:

- угловая скорость ротора вокруг оси z: $\omega = -315 \text{ рад/с}$;
- скорость воздуха на входе в дробилку в центр ротора $v = 39 \text{ м/с}$;
- подача дисперсных частиц $G_T = 0,04 \text{ кг/с}$ со скоростью $v_T = 10 \text{ м/с}$;
- выход потока на периферии ротора: тип граничного условия «Opening»;
- на стенках ротора и корпуса камеры измельчения использовалось условие прилипания потока;
- использована модель турбулентности k- ϵ [9, 10].



*Рис. 1. Молотковый ротор:
а – без дополнительных лопаток; б – с дополнительными лопатками*



*Рис. 2. Общий вид модели при задании сетки и граничных условий:
а – домен с элементами сетки, с подсвеченными зонами входа и выхода потоков;
б – граничные условия*

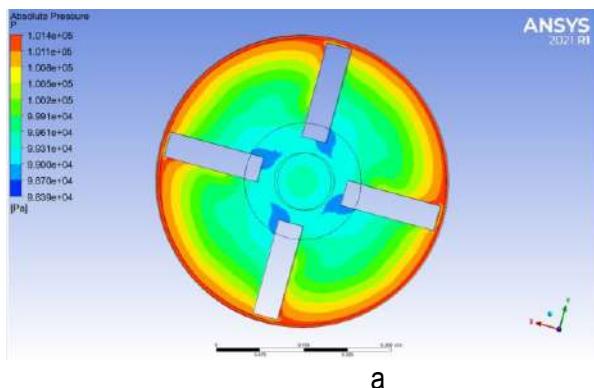
Результаты исследований и их обсуждение

При решении первой задачи и в случае однократного массового воздушного расхода $G = 0,346 \text{ кг/с}$ в случае отсутствия лопаток разряжение на входе равнялось $p_B = 2300 \text{ Па}$, а при наличии $p_B = 2757 \text{ Па}$. Различие по создан-

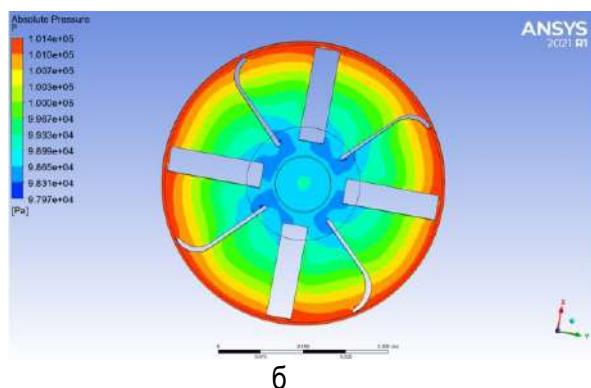
ной разнице давлений между входом и выходом составило $\Delta p = 457 \text{ Па}$, что обуславливает увеличение гидравлической мощности на 20% и, соответственно, такое же увеличение потребляемой мощности на привод ротора.

На рисунке 3 показаны распределения давлений на плане осевого сечения ротора, из которых следует аналогичный характер распределения давлений во вращающемся домене. При наличии лопаток (рис. 3 б) зона низких давлений в области начала лопаток ближе к центру ротора более развита, чем без них (рис. 3 а). Также зона высоких давлений на периферии ротора шире при наличии лопаток

(рис. 3 б), чем без них (рис. 3 а). На рисунке 4 показаны скорости воздушного потока на плане осевого сечения ротора, из которых видно, что лопатки выравнивают скорости на выходе из домена ротора (шкала скоростей шире у поля без лопаток). Этот эффект более заметен при выводе векторного поля на периферии ротора (рис. 5).

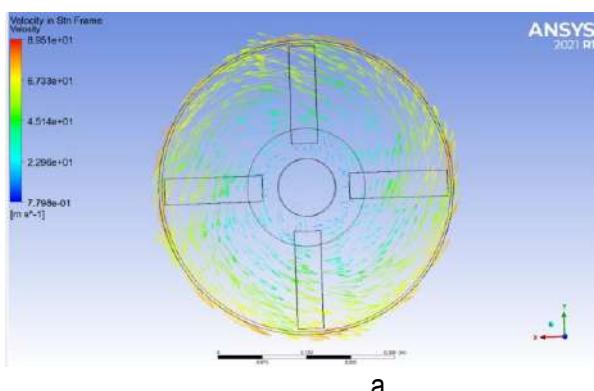


а

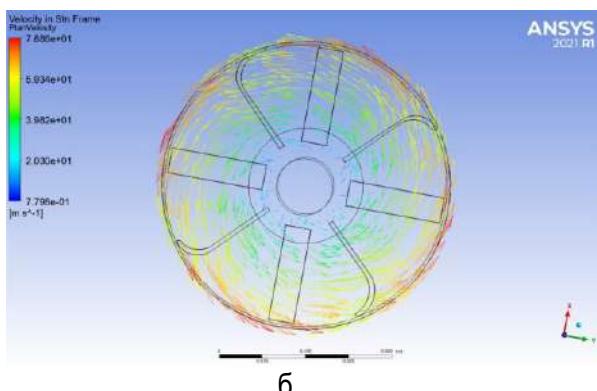


б

*Рис. 3. Распределение давлений на плане осевого сечения ротора:
а – без дополнительных лопаток; б – с дополнительными лопатками*

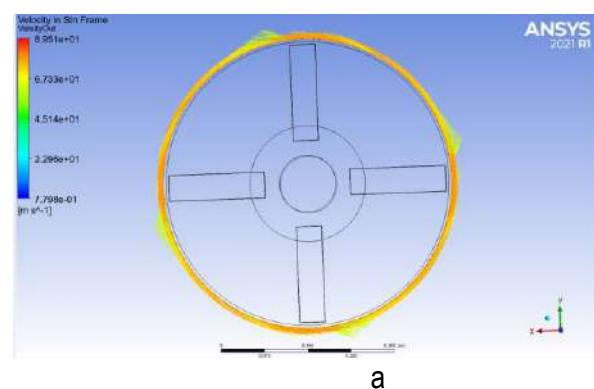


а

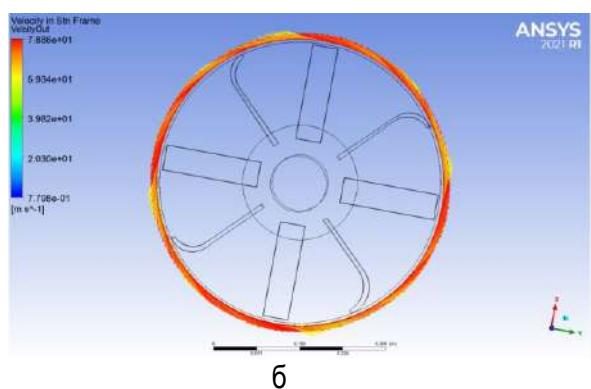


б

*Рис. 4. Распределение скоростей воздушного потока на плане осевого сечения ротора:
а – без дополнительных лопаток; б – с дополнительными лопатками*



а



б

*Рис. 5. Распределение скоростей воздушного потока на периферии ротора:
а – без дополнительных лопаток; б – с дополнительными лопатками*

На рисунке 6 представлены траектории частиц от входа в дробилку до первого соударе-

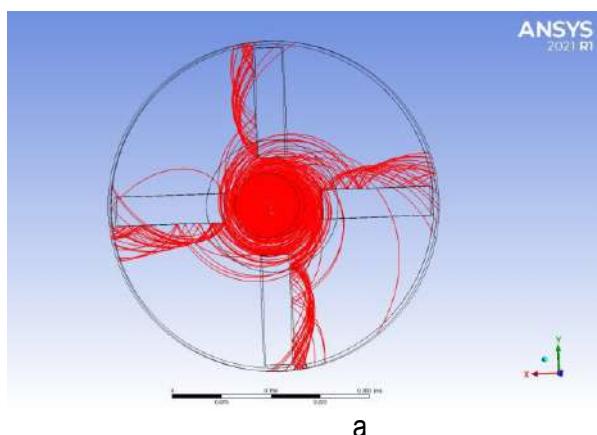
ния с поверхностью решета на выходе из домена ротора, из которых видно, что лопатки

участвуют в процессе ударного воздействия на зерновки, как и молотки. Частицы дерти не скользят по лопаткам, а отражаются от них после соударения. То есть лопатки выполняют функции измельчающего орудия и обеспечивают более равномерное воздействие на материал по окружности ротора.

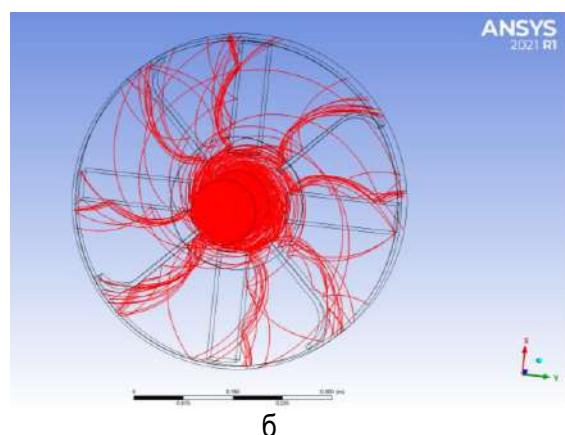
При исследовании циркуляции воздушного потока в дробилке при двух значениях общей площади сита $S_1 = 0,070 \text{ м}^2$ и $S_2 = 0,157 \text{ м}^2$ на выходе из камеры измельчения получены значения: $p_2 = 578 \text{ Па}$ – разность давлений на вхо-

де и выходе потока на большем диаметре сита, а $p_1 = 1145 \text{ Па}$ – разность давлений на входе и выходе потока на меньшем диаметре сита. Для обеспечения равного объемного заданного расхода $Q = 0,2885 \text{ м}^3/\text{с}$ необходимо увеличить гидравлическую мощность потока в два раза – с $N_2 = 166,8 \text{ Вт}$ до $N_1 = 330,3 \text{ Вт}$.

При этом длина суммы расчетных траекторий десяти частиц от входного сечения до первого взаимодействия с ситом на выходе изменится с 20,06 до 49,67 м (рис. 7 а, б).

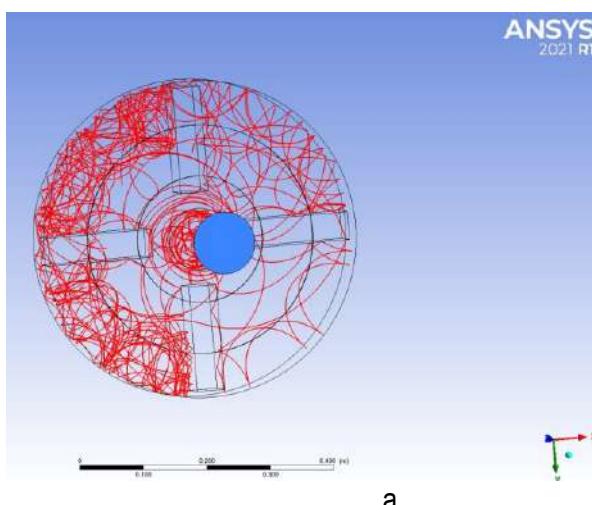


а

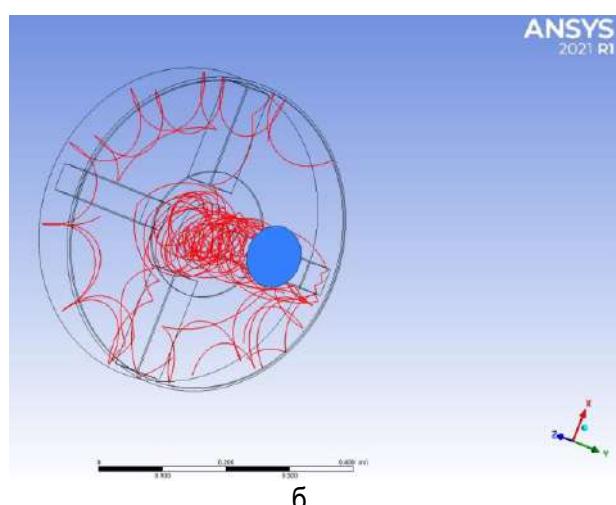


б

Рис. 6. Траектории частиц от входа в дробилку до первого соударения с поверхностью выхода на периферии ротора:
а – без дополнительных лопаток; б – с дополнительными лопатками



а



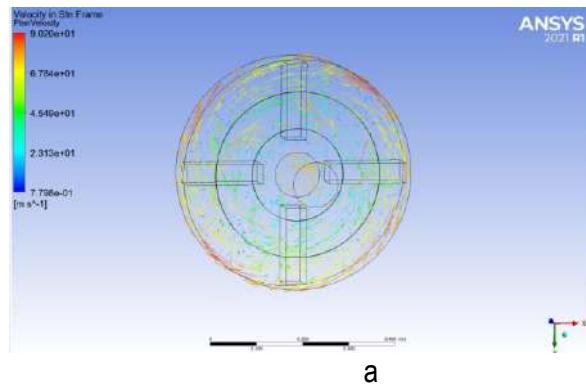
б

Рис. 7. Траектории относительного движения частиц диаметром 3 мм при площади сита:
а – $S_1 = 0,070 \text{ м}^2$; б – $S_2 = 0,157 \text{ м}^2$

На рисунке 8 представлены поля абсолютных скоростей воздушного потока. Из шкалы на полях скоростей видно, что максимальные скорости частиц выше на 8 м/с при меньшей площади сита, что сопровождается большим ударным импульсом частиц в момент соударения с декой.

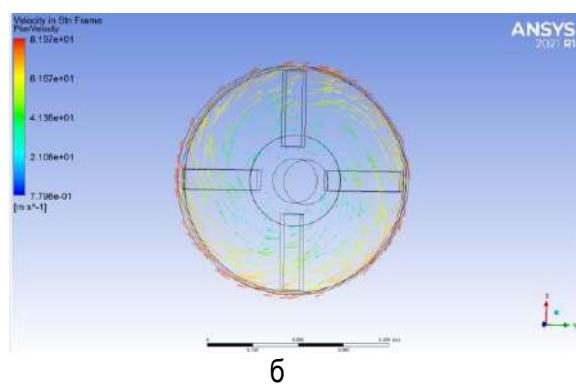
На рисунке 9 представлены поля абсолютных давлений воздушного потока. Из рассмотрения давлений отметим подобную картину распределения, но на меньшей площади выходного окна (рис. 9). Заметно смещение в сторону увеличения значений давления как на входе, так и на выходе потока. Кроме того, увеличивается раз-

нность давлений между входом и выходом при меньшей площади сита $S_1 = 0,070 \text{ м}^2$. Это проявляется увеличением гидравлической мощности при обеспечении равных расходов воздуха.



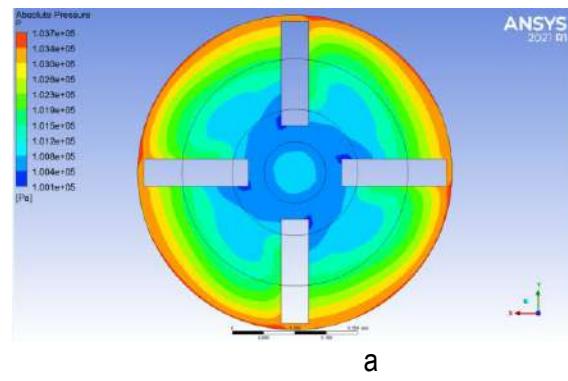
а

На рисунке 10 показаны распределения давлений на поверхностях, ограничивающих поток.

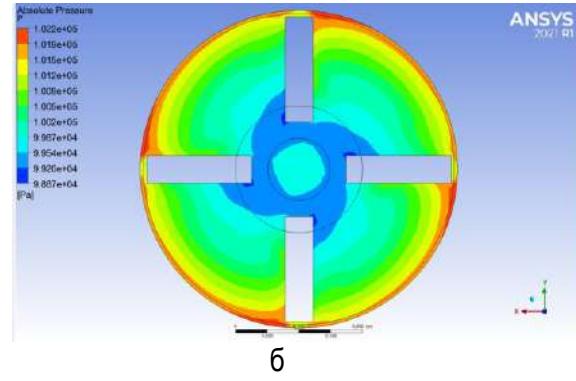


б

Рис. 8. Поле абсолютных скоростей воздушного потока при площади сита:
а – $S_1 = 0,070 \text{ м}^2$; б – $S_2 = 0,157 \text{ м}^2$

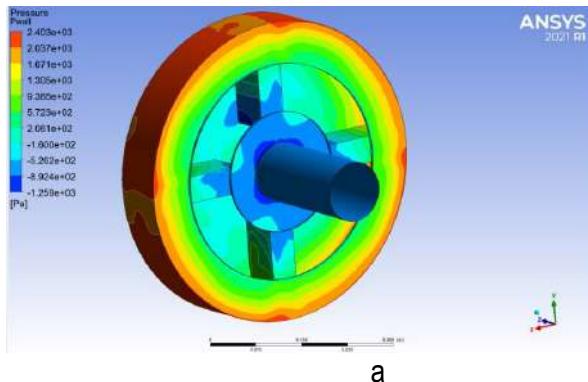


а

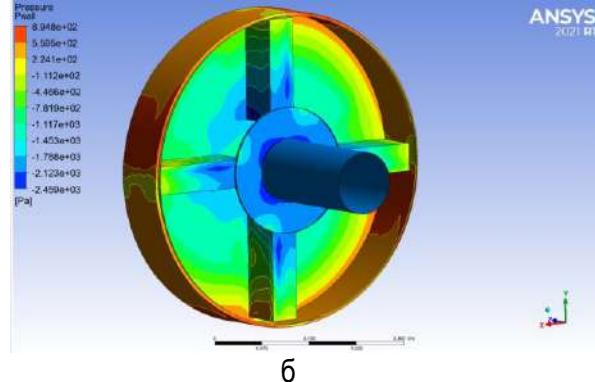


б

Рис. 9. Поле абсолютных давлений воздушного потока в сечении, перпендикулярном оси ротора
при площади сита:
а – $S_1 = 0,070 \text{ м}^2$; б – $S_2 = 0,157 \text{ м}^2$



а



б

Рис. 10. Распределения относительных давлений на поверхностях, ограничивающих поток:
а – $S_1 = 0,070 \text{ м}^2$; б – $S_2 = 0,157 \text{ м}^2$

Полученные результаты компьютерного моделирования достаточно надежны, что подтверждается экспериментальной проверкой [7, 8], и могут использоваться при разработке аналогичного кормоприготовительного оборудования.

Выводы

- Установка дополнительных лопаток увеличивает разность давлений между входом и выходом дробилки, которую можно использовать на преодоление сопротивлений в системе (расчетное значение составило $\Delta p = 457 \text{ Па}$). Но это обуславливает увеличение гидравлической мощности.

ской мощности на 20% и, соответственно, такое же увеличение потребляемой мощности на привод ротора.

2. Лопатки участвуют в процессе ударного воздействия на зерновки, как и молотки, то есть лопатки выполняют функции измельчающего орудия и обеспечивают более равномерное воздействие на материал по окружности ротора.

3. Одинаковый характер роста давления к периферии ротора в осевом вертикальном сечении камеры измельчения для обеих площадей сита.

4. Для обеспечения равного объемного расхода $Q = 0,2885 \text{ м}^3/\text{с}$ при уменьшении площади сита с $S_2 = 0,157 \text{ м}^2$ до $S_1 = 0,070 \text{ м}^2$ необходимо увеличить гидравлическую мощность потока в два раза – с $N_2 = 166,8$ до $N_1 = 330,3 \text{ Вт}$.

5. Расчетные значения относительных давлений на поверхностях, ограничивающих поток, показывают невозможность изменить внутренний диаметр сита в сторону его уменьшения, так как окно выхода попадет в область низких давлений и возникнет всасывание готового продукта в камеру измельчения.

Библиографический список

1. Федоренко, И. Я. Динамические свойства молотковой зернодробилки с вертикальным расположением барабана / И. Я. Федоренко. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1 (195). – С. 89-95.

2. Садов, В. В. Исследование траектории движения зернового материала при сходе с лопаток различной кривизны / В. В. Садов, С. А. Сорокин. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 7 (177). – С. 152-158.

3. Яровой, М. Н. Молотковая дробилка для фуражного зерна с конусным сепаратором / М. Н. Яровой. – Текст: непосредственный // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2021. – № 2 (17). – С. 97-101.

4. Технологии, машины и оборудование для производства комбикормов: справочник / Н. П. Мишурев, В. Ф. Федоренко, В. И. Сыроватка, Л. А. Неменущая. – Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 168 с. – Текст: непосредственный.

5. Влияние давления воздуха на технологический процесс измельчения зерна в дробилке /

П.А. Савиных, Н.В. Турбанов, А.В. Алешкин, В.А. Сухляев. – Текст: непосредственный // Инженерные технологии и системы. – 2025. – Т. 35, № 1. – С. 60-83.

6. Садов, В. В. Повышение эксплуатационных показателей измельчителей зерна с пневмозабором / В. В. Садов, С. А. Сорокин. – DOI 10.53083/1996-4277-2022-214-8-90-95. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 8 (214). – С. 90-95.

7. Результаты оценки показателей работы молотковой дробилки ДКР-1 / С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Г. Сергеев, А. Е. Шлыков. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 12 (163). – С. 7-23.

8. Булатов, С. Ю. Результаты исследований рабочего процесса дробилки с пневматической подачей при производстве кормовой добавки из древесных материалов сельскохозяйственным животным / С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Г. Сергеев. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 9 (148). – С. 16-29.

9. Коркодинов, Я. А. Обзор семейства к-е моделей для моделирования турбулентности / Я. А. Коркодинов. – Текст: непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2013. – Т. 15, № 2. – С. 5-16.

10. Калимуллин, Р. Р. Выбор модели турбулентности при моделировании вихревого течения жидкости в теплогенераторе / Р. Р. Калимуллин, Е. Н. Яминова, Н. В. Шестерякова. – Текст: непосредственный // Гидравлика. – 2016. № 1 (1). – С. 60-66.

References

1. Fedorenko, I.Ia. Dinamicheskie svoistva molotkovoi zernodrobilki s vertikalnym raspolozheniem barabana / I.Ia. Fedorenko // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – No. 1 (195). – S. 89-95.

2. Sadov, V.V. Issledovanie traektorii dvizheniya zernovogo materiala pri skhode s lopatok razlichnoi krivizny / V.V. Sadov, S.A. Sorokin // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – No. 7 (177). – S. 152-158.

3. Molotkovaia drobilka dlia furazhnogo zerna s konusnym separatorom / M.N. Iarovoii // Tekhnologii i tovarovedenie selskokhoziaistvennoi produktsii. – 2021. – No. 2 (17). – S. 97-101.

4. Mishurov, N.P. Tekhnologii, mashiny i oborudovanie dlia proizvodstva kombikormov: sprav. / N.P. Mishurov, V.F. Fedorenko, V.I. Syrovatka, L.A. Nemenuhchaia. – Moskva: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2021. – 168 s.
5. Vliianie davleniya vozdukha na tekhnicheskii protsess izmelcheniya zerna v drobilke / P.A. Savinykh, N.V. Turubanov, A.V. Aleshkin, V.A. Sukhlaev // Inzhenernye tekhnologii i sistemy. – 2025. – T. 35. No. 1. – S. 60-83.
6. Sadov, V.V. Povyshenie ekspluatatsionnykh pokazatelei izmelchitelei zerna s pnevmozaborom / V.V. Sadov, S.A. Sorokin // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – No. 8 (214). – S. 90-95. – DOI 10.53083/1996-4277-2022-214-8-90-95.
7. Rezulaty otsenki pokazatelei raboty moloftkovoj drobilki DKR-1 / S.Iu. Bulatov, V.N. Nechaev, A.G. Sergeev, A.E. Shlykov // Vestnik NGIEI. – 2024. – No. 12 (163). – S. 7-23.
8. Rezulaty issledovanii rabochego protsessa drobilki s pnevmaticheskoi podachei pri proizvodstve kormovoi dobavki iz drevesnykh materialov selskokhoziaistvennym zhivotnym / S.Iu. Bulatov, V.N. Nechaev, A.G. Sergeev // Vestnik NGIEI. – 2023. – No. 9 (148). – S. 16-29.
9. Obzor semeistva k-e modelei dlia modelirovaniia turbulentnosti / Ia.A. Korkodinov // Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie. – 2013. T. 15. No. 2. – S. 5-16.
10. Vybor modeli turbulentnosti pri modelirovaniii vikhrevogo techenii zhidkosti v teplogeneratore / R.R. Kalimullin, E.N. Iaminova, N.V. Shesteriakova // Gidravlika. – 2016. – No. 1 (1). – S. 60-66.



УДК 62-192:658.58:631.363.21

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-248-6-71-81

**М.В. Полковникова, А.В. Ишков,
Б.В. Иванайский, Е.М. Таусенев
M.V. Polkovnikova, A.V. Ishkov,
V.V. Ivanayskiy, E.M. Tausenev**

ПЛАНИРОВАНИЕ СЕРВИСНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ МОЛОТКОВЫХ ДРОБИЛОК КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ «АЛТАЙ»

PLANNING OF SERVICE MEASURES FOR HAMMER CRUSHERS OF “ALTAI” FEED PREPARATION PLANTS

Ключевые слова: кормодробилка, межремонтный интервал, сервисное обслуживание, ресурс, отказ, разбалансировка, молоток, животноводство, ось ротора, надежность.

В настоящее время в животноводстве при приготовлении кормов распространены ДМ с горизонтальным расположением ротора. Это энергонасыщенные, металлоемкие аппараты с высокой производительностью, при работе которых наблюдается интенсивный

износ рабочих органов – молотков, периодически отказывают и другие детали: подшипники, оси, решета, электродвигатель и пр., что приводит к неизбежным остановкам оборудования, снижению качества продукции, увеличению эксплуатационных затрат. Таким образом, планирование сервисных мероприятий для повышения надежности ДМ, увеличения их межремонтного интервала, снижения трудоемкости номерных ТО и пр. является актуальной задачей. Определенными преимуществами перед традиционными ДМ