

AGRICULTURAL ENGINEERING

МЕХАНИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

DEVELOPMENT OF A HYDRODYNAMIC SHOCK-AND-VIBRATION DISMEMBRATOR FOR EXTRA FINE WET GRINDING

Gaybaryan M. A., Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher

Sidorkin V. I., Researcher

Novikov N. N., Candidate of Agricultural Sciences, a.i. director

Gapeeva N. N., Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher

Teterin V. S., Candidate of Technical Sciences, senior researcher

Melnichuk D. S., Junior Researcher

Institute for engineering support of agriculture –
branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution
“Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Ryazan

Abstract. Grinding of raw material is one of basic technological operations in the production of humic fertilizers. This paper justifies the relevance of developing new equipment designed for intensification of grinding processes for the activation of extracting humic substances from organic raw materials. The authors have developed and proposed a new design of the hydrodynamic shock-and-vibration dismembrator for extra fine wet grinding of humate-containing loose substrates. A description of its construction and working principle, and design parameters are provided. The tests carried out have shown working efficiency of the proposed device and revealed a number of its advantages in comparison with design of other grinders. In particular, using hydrodynamic shock-and-vibration dismembrator will provide a considerable increase of destructive loads on particles of the material being ground due to simultaneous exposure to hydrodynamic, shock and vibration factors. Another advantage of the developed equipment is that additional forced cooling of working parts is not necessary, since grinding of the substrate is performed in liquid environment. High performance of the device is determined by the absence of impeller and stator full overlap zones. Besides, grinding of a product to the required granulometric particle size is performed in hydrodynamic flow through continuous processing of suspension in the closed cycle «reactor-dismembrator-reactor», that ensures the continuous production process. In this context, incorporation of a hydrodynamic shock-and-vibration dismembrator in a processing complex for the production of humic fertilizers will facilitate to improve its performance through intensification of the process of grinding raw material and contribute to higher quality of end products due to activation of extracting humic substances.

Keywords: humic fertilizers production, technical devices, dispersion, shock-and-vibration devices.

РАЗРАБОТКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО УДАРНО-ВИБРАЦИОННОГО ДИСМЕМБРАТОРА МОКРОГО СВЕРХТОНКОГО ПОМОЛА

Гайбарян М. А., канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

Сидоркин В. И., научный сотрудник

Новиков Н. Н., канд. с.-х. наук, врио директора

Гапеева Н. Н., канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник

Тетерин В. С., канд. техн. наук, старший научный сотрудник

Мельничук Д. С., младший научный сотрудник

Институт технического обеспечения сельского хозяйства –
филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный
научный агроинженерный центр ВИМ», г. Рязань

Аннотация. Измельчение исходного сырья является одной из основных технологических операций при производстве гуминовых удобрений. В статье обоснована актуальность разработки новых технических средств для интенсификации процессов измельчения с целью активации извлечения гуминовых веществ из органических сырьевых источников. Авторами разработана и предложена новая конструкция гидродинамического ударно-вибрационного дисмембратора для мокрого сверхтонкого помола гуматосодержащих субстратов. Описано его устройство и принцип работы, а также приведены конструктивные параметры. Проведенные испытания показали работоспособность предлагаемого устройства и выявили ряд его преимуществ по сравнению с конструкциями других измельчителей. В частности, использование гидродинамического ударно-вибрационного дисмембратора позволит значительно увеличить разрушающие нагрузки на частицы измельчаемого материала благодаря одновременному воздействию гидродинамических, ударных и вибрационных факторов. Еще одним преимуществом разработанного технического средства является отсутствие необходимости дополнительного принудительного охлаждения рабочих органов, так как измельчение субстрата происходит в жидкой среде. Высокий КПД работы устройства обеспечивается отсутствием сплошных зон перекрытия крыльчатки и статора. Кроме того, измельчение продукта до требуемого гранулометрического размера частиц осуществляется в гидродинамическом потоке за счет продолжительности обработки суспензии по замкнутому циклу «реактор-дисмембратор-реактор», что делает процесс производства непрерывным. Таким образом, включение гидродинамического ударно-вибрационного дисмембратора в состав технологического комплекса для производства гуминовых удобрений позволит повысить его производительность путем интенсификации процесса измельчения исходного сырья, а также способствует улучшению качества готового продукта за счет активации процессов извлечения гуминовых веществ.

Ключевые слова: производство гуминовых удобрений, технические устройства, диспергация, ударно-вибрационные устройства.

Введение. Одной из основных технологических операций при производстве гуминовых удобрений является измельчение исходного сырья перед подачей его в реактор с целью ускорения физико-химических процессов выделения гуминовых кислот.

Для этой цели в настоящее время применяются различные виды измельчителей: диспергаторы, дисмембраторы, кавитаторы, шаровые мельницы и другие.

Однако, как показал проведенный нами анализ, измельчение материала в этих устройствах происходит, в основном, под действием одного вида нагрузок – ударных. Это снижает интенсивность процесса измельчения исходного материала и, следовательно, уменьшает производительность всего комплекса оборудования для получения гуминовых удобрений.

Поэтому возникает необходимость создания такого устройства, в котором измельчение материала происходит под одновременным воздействием на него нескольких видов

нагрузок: гидродинамических, ударных, истирающих и вибрационных. Такая работа ведется институтом Технического обеспечения сельского хозяйства (ИТОСХ-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

Целью этой работы является повышение производительности технологического комплекса для производства гуминовых удобрений путем интенсификации процесса измельчения исходного сырья перед подачей его в реактор.

Интенсификация процесса получения суспензии органических веществ путем одновременного воздействия на измельчаемый материал разными видами нагрузок является актуальной и практически значимой проблемой. Несмотря на эффективность данного способа, он не нашел широкого применения в промышленности, из-за того, что известные механические устройства для измельчения и тонкого помола органических веществ не обеспечивают одновременного комплексного воздействия на измельчаемый материал.

Обзор литературы. Научные исследования и патентные разработки по интенсификации процесса измельчения органических материалов, разработке кавитационных технологий при диспергировании и гомогенизации, а также совершенствованию роторно-импульсных аппаратов различных конструкций выполнены многими учеными и опубликованы в литературе. Рассмотрим некоторые наиболее значимые.

Так, в работах Курочкина А.К. и Курочкина А.А. изложены концептуальные подходы к конструированию гидродинамических роторных кавитаторов. Показана высокая интенсивность генерирования кавитационного процесса роторными кавитаторами. Приведены выводы и рекомендации по широкому внедрению кавитационных технологий в различные отрасли [1].

В работах Думитраша П.Г. и др. обоснованы режимы диспергирования для материалов с различными физико-химическими свойствами. Разработаны технологии диспергирования и гомогенизации для изготовления эмульсий и суспензий под действием ультразвуковой и гидродинамической кавитации [2].

В исследованиях Карташова С.Г. и Клычева Е.М. изложена концепция разработки технических средств для приготовления гомогенизированных смесей. Установлено, что при этом процессе вместе с обеззараживанием сырья происходит биологическая активация воды. Такая вода является мощным растворителем солей [3].

Все более широкое промышленное применение получают мельницы с большей скоростью приложения разрушающих усилий, чем у барабанных шаровых мельниц. К ним относятся вибрационные, центробежные, струйные, планетарные, вихревые и другие измельчители, дезинтеграторы, дисмембраторы, аттриторы. Удельная производительность таких мельниц в несколько раз выше, чем у вращающихся барабанных шаровых мельниц. Интенсивность передачи энергии от рабочего органа к измельчаемому продукту в таких мельницах на порядок превосходит также шнековые, конусные дробилки, молотковые, кулачковые, ножевые и пружинистые измельчители. Такие мельницы имеют высокую энергонасыщенность и небольшие размеры, поэтому их применяют при необходимости измельчения относительно небольших объемов материалов.

Ряд научных исследований по изучению процессов диспергирования и эмульгирования различных материалов выполнен также зарубежными учеными.

Так, в трудах Японского общества инженеров-механиков (часть 13) приведены результаты использования принципа эмульгирования при переработке пищевых продуктов, химических материалов и др. При этом в качестве гомогенизатора используется плунжерный насос и часть клапана с узким каналом [4]. В этом устройстве используются эффекты сдвига турбулентного потока и кавитации за очень короткое время, а затем создается гомогенное состояние эмульгирования. Методический подход к проведению данных исследований заключается в том, что параметры и режимы работы гомогенизатора (частота вращения, размеры зазоров и др.) вначале определяются теоретическим путем из уравнения ламинарного

потока на основе числа Рейнольдса для зазора, а затем рассчитываются давление и скорость потока.

Влияние предварительной механической обработки на экстракцию углеводов из жидкого концентрата богатой углеводородом микроводоросли изучено учеными Цуцуми С. и др. Результаты исследований опубликованы в журнале «Энергия и топливо». Установлено, что предварительная механическая обработка данного материала способствует значительному ускорению экстракции углеводов из жидкого концентрата [5].

Проведенный нами анализ патентной литературы показал, что имеется целый ряд различных конструкций дисмембраторов и дезинтеграторов, защищенных патентами на изобретение.

Дезинтегратор (патент SU 1530244A1), содержащий корпус, в котором на вертикальных валах закреплены диски с ударными элементами в виде бил прямоугольной формы. На тыльной стороне поверхности нижнего диска, имеющего стаканчатую форму, установлены ударные элементы (била, пальцы), а на торцевой поверхности имеются концентрически расположенные отверстия, наклоненные к ней под углом 45° [6].

Предложены также дезинтеграторы, содержащие два ротора, расположенные горизонтально и вращающиеся в разные стороны, причем роторы расположены так, что концентрические окружности с билами одного ротора размещаются внутри концентрических окружностей с билами другого ротора.

По патенту SU 173223 известен дезинтегратор, выполненный в виде центробежного гидродинамического насоса, содержащего диспергирующий узел в виде «круглых бесконечных ножниц» и неподвижного кольцевого статора, выполненного в виде косозубых шестерен со срезанными ножками зубьев, образующих сквозные отверстия-каналы со стороны выхода суспензии из внутренней полости ротора, внутри которого расположена центробежная крыльчатка, в сторону кольцевого статора, имеющего микроскопический зазор с ротором в сторону тангенциального нагнетающего патрубка рабочей камеры корпуса дезинтегратора [7].

Перечисленные выше дезинтеграторы имеют высокую удельную производительность, низкую металлоемкость, большой КПД (по сравнению с шаровыми мельницами) и их можно использовать как высокоэффективный смеситель для жидких суспензий.

Известен также дисмембратор, у которого крыльчатка выполнена в виде фрезы (патент SU 171086), имеющей периферийную режущую часть. Стационарные комбинированные калибровочные ножи кольцевого статора, имеющего микрометрический зазор с крыльчаткой, выполнены в виде кольца с перфорированными калибровочными отверстиями. Однако, как показывает практика, при изготовлении и сборке такого дисмембратора невозможно обеспечить точный размер микрометрического зазора между неподвижным статором и вращающимся ротором менее 0,1 мм [8].

Общим недостатком описанных конструкций дисмембраторов являются:

- проблемы с масштабированием их в сторону увеличения размеров. Это связано с большими перегрузками, которые испытывают роторы при линейных скоростях обечайки ротора более 200 м/с;

- при больших скоростях соударения пальцев с измельчаемым материалом происходит интенсивный износ пальцев, поэтому их предпочтительнее использовать на неабразивных материалах.

Материалы и методы. Решением интенсификации процесса измельчения является разработка гидродинамического ударно-вибрационного дисмембратора мокрого сверхтонкого помола органических веществ. Такое устройство обеспечивает одновременное воздействие на измельчаемый материал различными видами нагрузок и, тем самым, способствует повышению интенсивности процесса измельчения с улучшением качества получаемой продукции.

В результате проведенных нами исследований было установлено, что наиболее эффективным техническим решением для достижения этой цели является совмещение в одном

устройстве принципа действия роторного дисмембратора и работы шаровой мельницы. В этом случае разрушающее усилие на измельчаемый материал значительно увеличивается в зависимости от его параметров и режимов работы.

В качестве такого устройства нами предлагается новая конструкция гидродинамического ударно-вибрационного дисмембратора, представленного на рисунке 1.

Гидродинамический ударно-вибрационный дисмембратор мокрого сверхтонкого помола содержит подпружиненную площадку с закрепленным на ней электродвигателем, проставок крепления к электродвигателю промежуточного фланца и проставки, корпус с всасывающим патрубком и нагнетающим патрубком, втулку крепления лопастей крыльчатки, коаксиально расположенный статор, прикрепленный винтовыми соединениями к проставке, промежуточный вал, соединяющий вал электродвигателя с втулкой крыльчатки, шпильки крепления проставка с проставком с расположенными между ними фланцем, шпильки крепления корпуса с проставком.

Роторно-статорная часть содержит втулку с приваренными к ней лопатками, которые также привариваются и к фланцу крыльчатки, шаровые мелющие тела, расположенные в секторных частях, образованных втулкой, лопатками, фланцем, имеющим вращение с крыльчаткой и стационарным фланцем корпуса.

Гидродинамический ударно-вибрационный дисмембратор мокрого сверхтонкого помола работает следующим образом. После включения электродвигателя получает вращение центробежная крыльчатка, состоящая из втулки, лопастей и фланца, которые создают зоны разрежения. В результате этого суспензия через всасывающий патрубок попадает через сквозные пазы втулки в секторные полости С, частично заполненные мелющими телами.

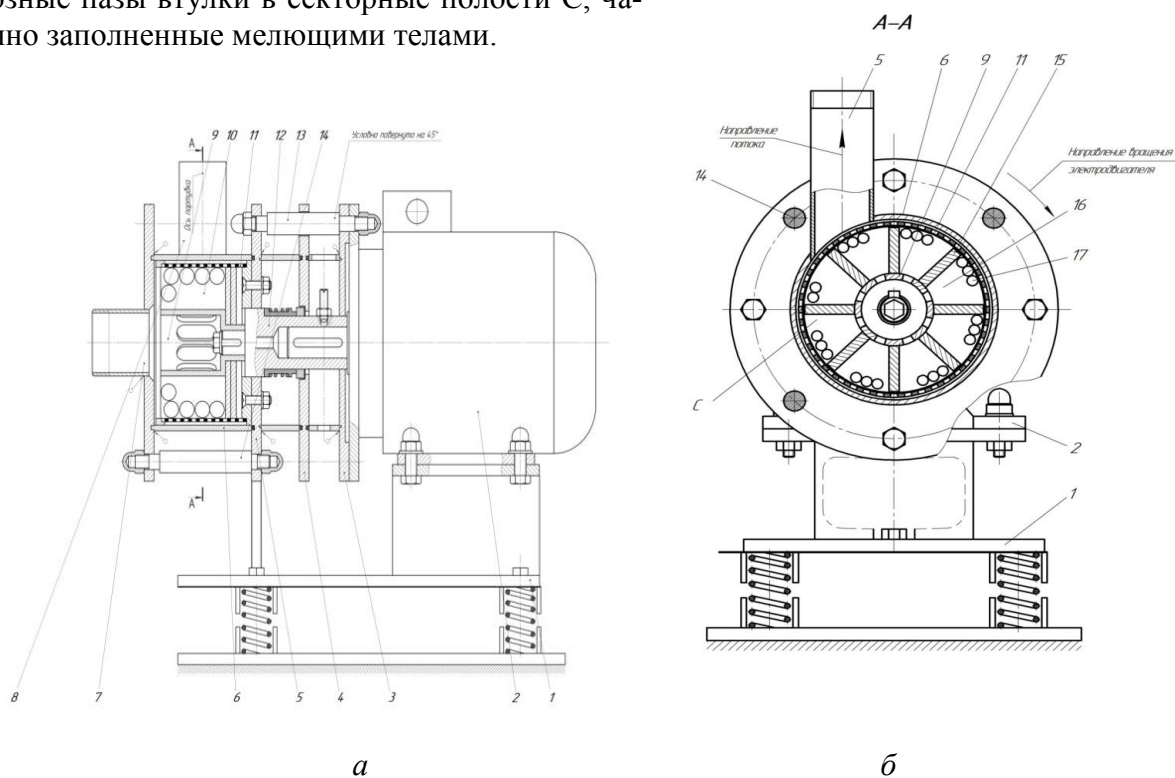


Рисунок 1 – Гидродинамический ударно-вибрационный дисмембратор мокрого сверхтонкого помола:

a – схема гидродинамического ударно-вибрационного дисмембратора мокрого сверхтонкого помола; *б* - роторно-статорная часть дисмембратора с шаровыми мелющими телами; *с* – секторные полости; 1 – подпружиненная площадка; 2 – электродвигатель; 3 – проставок; 4 – промежуточный фланец; 5 – проставок; 6 – корпус; 7 – всасывающий патрубок; 8 – нагнетающий патрубок; 9 – втулка крепления лопастей; 10 - крыльчатка; 11 – статор; 12 – промежуточный вал; 13 – шпильки крепления проставков; 14 – шпильки крепления корпуса; 15 – (см. б) – лопатки; 16 – фланец; 17 – мелющие тела.

По мере разгона шаровых мелющих тел, получающих принудительное вращение от лопастей, они под действием центробежного ускорения вместе с суспензией устремляются к периферийной части статора, имеющего перфорированную кольцевую форму.

На рисунке 2 показаны различные схемы загрузки шаровых мелющих тел.

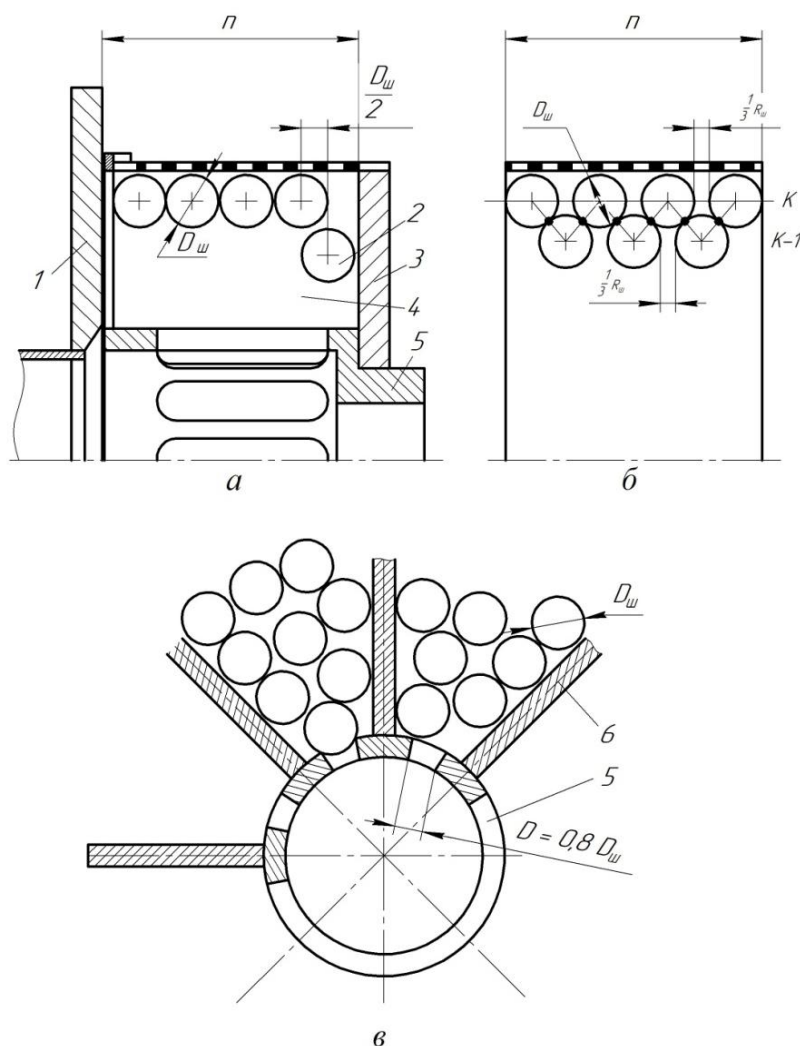


Рисунок 2 – Размещение шаровых мелющих тел в секторах крыльчатки:

- а – при однорядной заправке мелющих тел; б – при двухрядной заправке мелющих тел;
 в – в зоне приварки лопастей крыльчатки к втулке; 1 – фланец корпуса; 2 – мелющее тело;
 3 – фланец крыльчатки; 4 – крыльчатка; 5 - втулка крепления лопасти; 6 – лопасть

Во избежание заклинивания шаровых мелющих тел лопасти крыльчатки расположены перпендикулярно к статору. Концентричная поверхность, описываемая лопастями, имеет минимальный зазор с внутренним диаметром статора в пределах до 0,1 мм, а в процессе загрузки мелющими телами между фланцами корпуса и фланцем крыльчатки должно быть выполнено условие при однорядной загрузке:

$$n = k \cdot D_{ш} + \frac{D_{ш}}{2},$$

где n – расстояние между фланцами 6 и 16;

k – количество шаровых мелющих тел в одном ряду;

$D_{ш}$ – диаметр шаровых мелющих тел.

При двухрядной загрузке при $K-1$ зазор между мелющими телами должен составлять $1/3D_{ш}$. Кроме того ширина сквозных отверстий втулки с целью предотвращения проскакивая

шаровых мелющих тел во внутреннюю часть втулки должна составлять не более $0,8D_{ш}$. При размещении более мелких шаровых мелющих тел сквозные отверстия втулки в виде пазов можно заменить на ряд отверстий диаметров $d_{отв} \leq 0,8 D_{ш}$, расположенных в шахматном порядке вдоль оси втулки.

В периферийной зоне измельчения на границе внутренней поверхности кольцевого статора, мелющие тела за счет центробежных сил прижимаются к плоскости статора, точкам сопряжения между шарами пропорционально частоте вращения крыльчатки, а сектор, имеющий меньшее количество шаров по отношению к остальным секторам создает вибрационные колебания за счет возникновения дисбаланса при вращении ротора. Во избежание усиленного износа подшипников в электродвигателе и других частях конструкции, дисмембратор устанавливается на подпружиненную площадку, смягчающую вибрационные нагрузки на электродвигатель и корпус дисмембратора. Усилия, воспринимаемые пружинами, регулируются путем изменения высоты рабочей зоны пружин с помощью винтовых стяжек.

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований разработана конструкция, изготовлен и испытан гидродинамический ударно-вибрационный дисмембратор (рисунок 3) со следующими конструктивными параметрами и режимами работы:

- производительность – $7-10 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- частота вращения – $1000-1500 \text{ об/мин}$;
- диаметр всасывающего – $1,5 \text{ дюйма}$;
- диаметр нагнетающего патрубка – $1,5 \text{ дюйма}$;
- количество шаровых мелющих тел в одном секторе – $6-12$;
- количество секторов – 8 ;
- диаметр ротора – 157 мм ;
- масса изделия с двигателем – 78 кг .

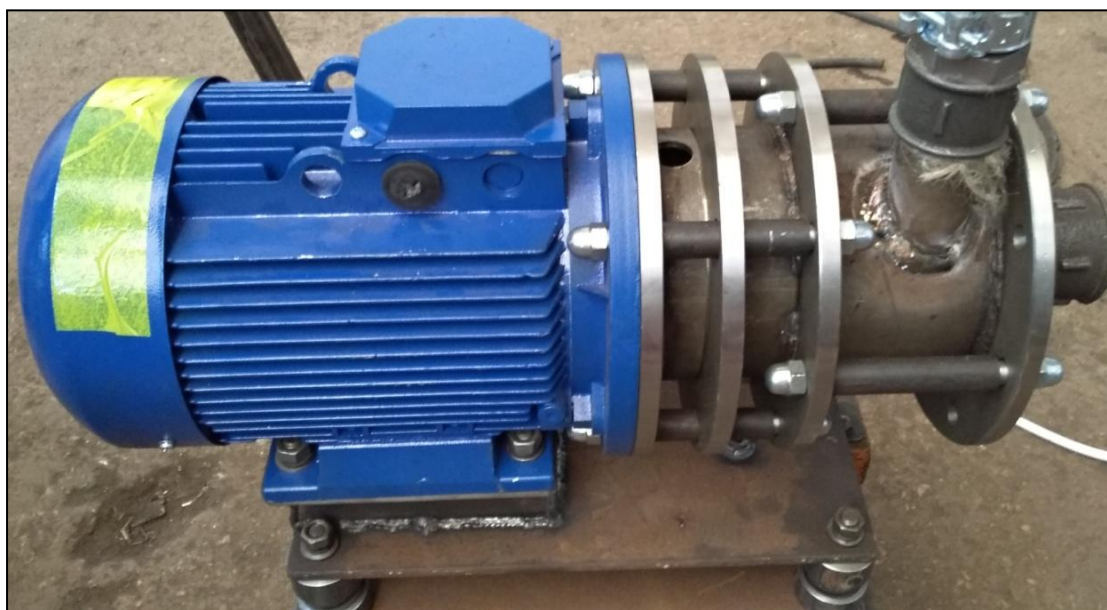


Рисунок 3 – Общий вид гидродинамического ударно-вибрационного дисмембратора

Испытания дисмембратора проводились на площадке экспериментально-производственного отдела института. В результате испытаний было установлено, что конструкция гидродинамического ударно-вибрационного дисмембратора является работоспособной, однако, обладает некоторыми недостатками, основными из которых являются:

- количество шаровых мелющих тел не оптимизировано исходя из условия устранения их заклинивания;
- необходимо уточнить оптимальную частоту вращения ротора;

– детали крыльчатки ротора и статора необходимо выполнить из высококачественной легированной стали с соответствующей термообработкой, обеспечивающей прочность деталей ротора и статора равной прочности шаровых мельющих тел.

Выводы. Предлагаемая конструкция гидродинамического ударно-вибрационного дисмембратора, при правильно рассчитанных и обоснованных его параметрах и режимах работы, обладает рядом потенциальных преимуществ по сравнению с известными конструкциями измельчителей. К числу таких преимуществ можно отнести следующее:

1. В данном устройстве наилучшим образом соединены достоинства роторно - лопастного дисмембратора, создающего мощный гидродинамический поток суспензии, с преимуществом принципа измельчения в вибрационных шаровых мельницах. Это позволяет значительно увеличить разрушающие нагрузки на частицы измельчаемого материала путем одновременного воздействия на них гидродинамическими, ударными и вибрационными нагрузками.

2. Шаровые вибрационные мельницы, атриторы, а также молотковые дробилки, работающие на сухом измельчении материалов, при работе имеют интенсивный износ рабочих мельющих тел (молотков, кулачков) и корпуса, вследствие нагрева элементов конструкции до температур свыше 100°C и требуют принудительного охлаждения проточной холодной водой или воздухом. В предлагаемом гидродинамическом ударно-вибрационном дисмембраторе процесс измельчения происходит в жидкой среде, поэтому не требуется дополнительного принудительного охлаждения рабочих органов.

3. Разработанный гидродинамический ударно-вибрационный дисмембратор осуществляет измельчение продукта до требуемого гранулометрического размера его частиц в гидродинамическом потоке суспензии за счет продолжительности обработки, проходящей в режиме «реактор-дисмембратор-реактор» без промежуточных остановок на выгрузку готового продукта, т.е. происходит непрерывный процесс, что способствует повышению производительности оборудования.

4. За счет отсутствия сплошных зон перекрытия крыльчатки и статора обеспечивается высокий КПД работы устройства.

Указанные выше недостатки будут устранены в процессе дальнейших экспериментальных исследований и внесения изменений в конструкции элементов гидродинамического ударно-вибрационного дисмембратора.

Библиографический список

1. Курочкин А.К., Курочкин А.А. Гидродинамические роторные кавитаторы. Кавитационные процессы и технологии // Экологический вестник России. – 2018. – № 8. – С. 14–24.
2. Кавитационные технологии при диспергировании и гомогенизации / Думитраш П.Г. [и др.] // Электронная обработка материалов. – 2009. – № 4 (258). – С. 102–107.
3. Карташов С.Г., Клычев Е.М. Модернизация роторно-пульсационных аппаратов для использования в технологиях приготовления жидких кормов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 4 (32). – С. 27–30.
4. Fukutomi, J., Sumitomo, T., Yoshimura, Y., Shigemitsu, T., Ichimiya. Study of emulsification mechanism in a pressure type homogenizer // Nihon Kikai Gakkai Ronbunshu, B Hen. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. – 2013. – Part B 79(806). – Pp. 2030-2040.
5. Tsutsumi S., Saito Y., Matsushita Y., Aoki H. Effect of Mechanical Pretreatment on Hydrocarbon Extraction from Concentrated Wet Hydrocarbon-Rich Microalga, *Botryococcus braunii* // Energy and Fuels. – 2018. – 32(2). – P. 1761–1770.
6. Коллоидная мельница: пат. 1530244 Рос. Федерация. № 4392669/23-33 / Гуюмджян Н. Н., Воскресенский А. И.; заявл. 07.03.88; опубл. 23.12.89, Бюл. № 47.
7. Дезинтегратор: пат. 173223 Рос. Федерация. № 2016149050 / Сорокин Н.Т. и др.; заявл. 13.12.2016; опубл. 16.08.2017. Бюл. № 23.
8. Дисмембратор: пат. 171086 Рос. Федерация. № 2016140611 / Сорокин Н.Т. и др.; заявл. 14.10.2016; опубл. 19.05.2017. Бюл. № 14.