

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-88-98

^{1,*}Сиваченко Л.А., ²Потапов В.А., ²Кузьменкова М.С.¹Белорусско-Российский университет²Барановичский государственный университет

*E-mail: 228011@mail.ru

МНОГОЦЕЛЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ С ГИБКИМ ВОЛНОВЫМ РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Аннотация. В статье рассмотрены проблемные вопросы, связанные с комплексной переработкой неоднородных и сложных по составу и свойствам материалов. На основе оценки технического уровня существующего оборудования обоснована необходимость его технологической модернизации и развития. Впервые предложена и обоснована концепция создания технологических машин с кинематически деформируемой волной рабочей камерой. Разработаны варианты технологических решений одно – и двухволновых аппаратов, которые могут быть использованы для проведения процессов смешивания, измельчения и разделения материалов по крупности, а также показаны основные особенности поведения гибких волновых поверхностей при взаимодействии с обрабатываемой средой. Описаны конструкции двух экспериментальных установок, приведены их технические характеристики, изложены состав обрабатываемых материалов и представлены результаты экспериментальных исследований по переработке карьерного мела, строительных смесей и твердых коммунальных отходов. Полученные данные позволяют судить о достаточно высокой технологической эффективности и необходимости дальнейшего развития аппаратов с волновым рабочим оборудованием, что выражается в достаточно высоком качестве получаемых продуктов, возможности управления их гранулометрическим составом, способности работать в условиях скачкообразного изменения свойств обрабатываемой среды, в том числе за счёт самоочищения элементов рабочей камеры и устранения заклинивания кусков материала в рабочих зонах и совмещения различных технологических функций в одном аппарате.

Ключевые слова: волновой аппарат, измельчение, смешивание, грохочение, гибкая камера, адаптивность, цепной агрегат, эффективность процесса.

Введение. Во многих отраслях промышленности требуется перерабатывать огромное количество материалов, которые характеризуются неоднородностью по составу и свойствам [1, 2]. К ним в первую очередь можно отнести сырьевые карьерные материалы (мел, глину, известняки, торф и др.), твердые коммунальные и строительные отходы, горно-химическое сырье, продукты лесо- и сельхозпереработки, а также осуществлять технологические переделы с дисперсными средами, которые отличаются реологической нестабильностью и требуют дополнительных операций, например, увлажнения или сушки. Все вышеперечисленные факты свидетельствуют о необходимости разработки многоцелевого оборудования, обеспечивающего эффективную переработку таких материалов и отвечающего требованиям энерго- и ресурсосбережения [3, 4]. Одним из направлений решения перечисленных задач может быть использование технологических аппаратов адаптивного действия, основанных на новых конструктивных исполнениях рабочего оборудования [5, 6].

Основная часть. Концепция оборудования основана на использовании рабочих камер технологических аппаратов, выполненных в виде кинематически деформируемых волновых гибких сплошных, перфорированных или составных оболочек, внутренние поверхности или элементы которых способны воздействовать на перерабатываемую среду с максимальной адаптивностью при проведении процессов измельчения, смешивания и разделения материалов по крупности [6, 7].

Важнейшей задачей на первом этапе проектирования технологических аппаратов с гибким волновым рабочим оборудованием является правильный выбор кинематической схемы. Для этого требуется проведение анализа вариантов движения гибких волновых рабочих органов, которые в значительной степени будут определять технологические возможности создаваемого оборудования. Для целостного восприятия вариантов движения гибких элементов воспользуемся методами анализа, структуры и кинематических связей в механизмах и приведем их к условиям работы технологических агрегатов [8].

Анализ и оценка конструктивного выполнения разрабатываемых аппаратов требует систематизации вариантов их технической реализации. В качестве основных критериев будем считать характеристики деформации волновой рабочей камеры и возможность при этом создавать условия, при которых обеспечивается максимальная технологическая эффективность при реализации различных процессов: измельчения, смешивания и разделения материалов по крупности. Конкретные примеры создания многоцелевых агрегатов с волновым рабочим оборудованием представлены на рисунке 1. По степени деформирования гибких волновых камер они разделены на одно- и двухволновые. Кратко рассмотрим разработанные конструктивные решения. При их описании приняты следующие основные обозначения, входящие в них элементов: 1 – гибкая волновая камера, 2 – шатун, 3 – кривошип, 4 – подвес маятникового рычага, 5 – направляющие, 6 – шарниры, 7 – амортизатор.

Схема 1. Волновая гибкая камера монтируется на вертикальном подвесе, совершающем под действием кривошипно-шатунного механизма колебательные движения. При этом волновая камера имеет возможность деформироваться только за счёт сил инерции её стенок и обрабатываемого материала. Аппарат может работать как смеситель или грохот с достаточно высокой эффективностью при сравнительно невысокой производительности. Конструкция проста в изготовлении и эксплуатации.

Схема 2. Рабочая камера деформируется синхронным перемещением её концов в горизонтальных направляющих, что реализуется приводным механизмом с двумя шатунами, причём ось привода расположена в верхней части аппарата. Усложнение таким образом конструкции особых технологических преимуществ не даёт. По применению это грохот или смеситель непрерывного действия.

Схема 3. Отличается от схемы 2 тем, что гибкая камера деформируется посредством горизонтального перемещения только одного из её сторон, что упрощает конструкцию, но не способствует интенсификации рабочего процесса.

Схема 4. Передача усилия от шатуна происходит на одну из боковых стенок волновой камеры выше нижней точки её провисания. Этим обеспечивается сложный характер деформирования гибкой оболочки, которая обеспечивает эффективную трансформацию энергии колебаний шатуна и преобразование её в интенсивные перемещения обрабатываемой среды, по сложным пространственным траекториям характер кото-

рых можно задавать изменением параметров колебаний шатуна, местом и направлением их приложения на рабочую камеру. В качестве недостатков такой конструкции можно считать необходимость устранения боковых колебаний конструкции, возникающих от действия инерционных сил с помощью амортизаторов. Отличается хорошей смесеобразовательной способностью и повышенной эффективностью процесса грохочения, особенно неоднородных и сложных по составу и свойствам материалов.

Схема 5. Данное техническое решение предусматривает деформацию волновой камеры синхронным перемещением её боковых стенок посредством привода двух шарниров, связанных с вертикальным шатуном рычагов. За счёт этого гибкая оболочка рабочей камеры периодически изгибается с образованием двухволновой конфигурации, которая в зависимости от хода шатуна меняет свои очертания от выпуклых к вогнутым. Слабым местом конструкции является наличие в рабочем пространстве подвижных сопряжений, но при этом отсутствуют боковые реакции, передаваемые на корпус устройства. Имеет возможность практического значения как смеситель или грохот.

Схема 6. В отличие от схемы 5 вертикально установленные шатун связан с центральной частью внутренней стенки рабочей камеры и производит её перемещения с периодическим образованием двух симметричных волн различной направленности в зависимости от кинематики его движения. Конструкция проста в изготовлении и не требует уплотнения подвижных звеньев. В целом это перспективный технологический аппарат многоцелевого назначения.

Схема 7. Изогнутая по форме двух волн гибкая оболочка в своей центральной части связана с вертикальным подвесом маятникового рычага, расположенным по оси симметрии аппарата. Подвес одним концом установлен в шарнире и приводится в колебательные движения посредством кривошипно-коромыслового механизма. По мере перемещения подвеса волны рабочей камеры изменяют свою форму, совершая сложные движения по вертикали и горизонтали, что обеспечивает интенсивный механизм воздействия их внутренних поверхностей на обрабатываемые материалы. Отличается большим конструктивным многообразием, в том числе выполнением рабочей камеры из листовых элементов, перфорированной, в виде цепных гирлянд, с оснащением рабочего оборудования зубьями, ножами и т.д. Область применения измельчение, грохочение и смешивание, в крупнотоннажных производствах.

Схема 8. Отличается от схемы 7 верхним подвесом маятникового рычага и некоторыми особенностями движения материала в рабочей камере, который имеет большую составляющую движения в вертикальном направлении. На рабочем оборудовании отсутствует налипание и не

требуется специальных мер по защите от попадания в рабочую зону посторонних включений. Конструкция может найти широкое промышленное применение в частности при оснащении её цепными элементами для переработки неоднородных и сложных по составу и свойствам материалов.

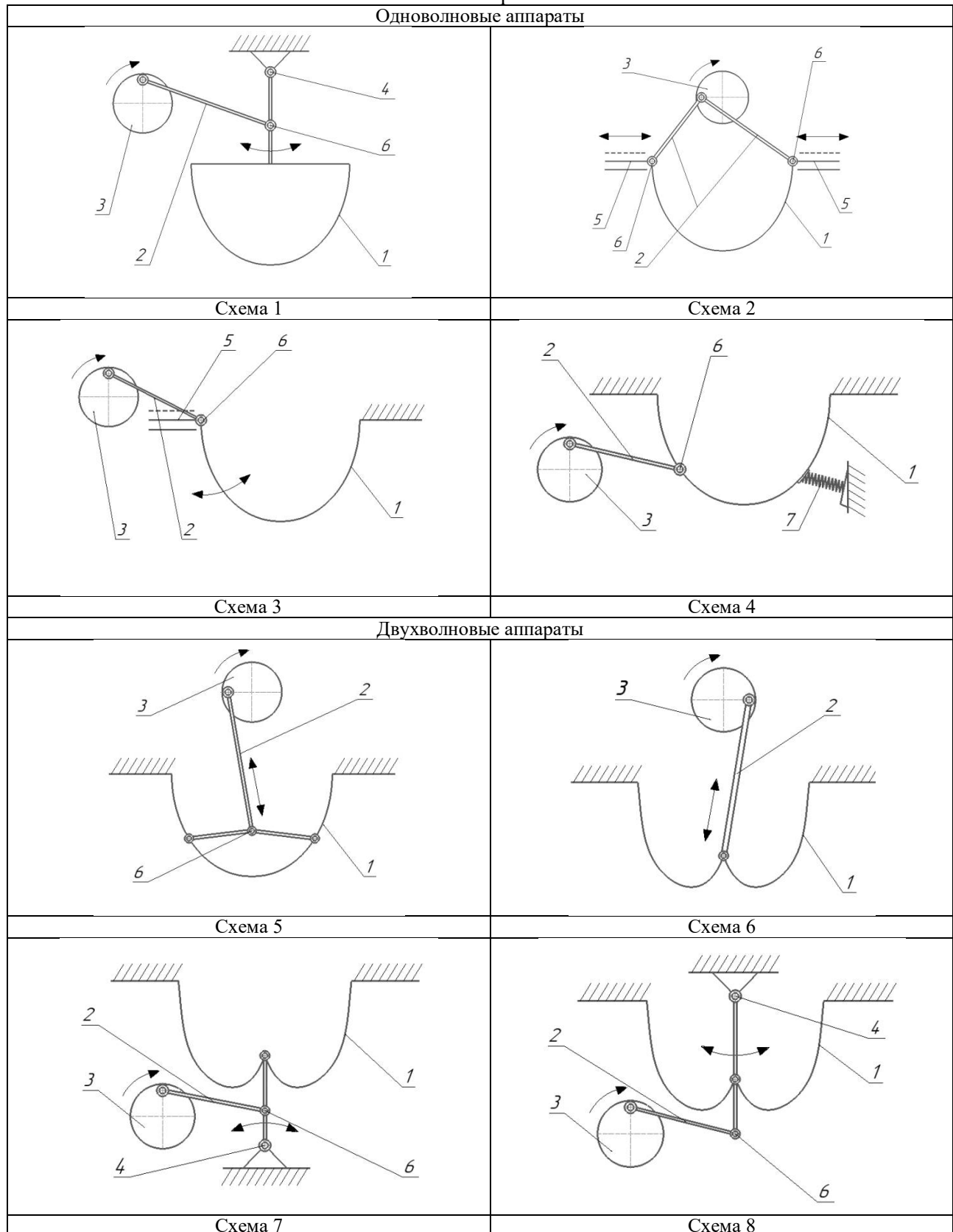


Рис. 1. Кинематические схемы волновых аппаратов

Выполненная по любой из схем 1–8 и установленная под углом к горизонту волновая рабочая камера является универсальной и в ней можно осуществлять процессы перемешивания, грохочения, измельчения или предварительной сушки, причем для грохочения ее гибкая оболочка с соответствующими отверстиями является ситом. Для целей перемешивания и сушки гибкая оболочка изготавливается гладкой. Во всех возможных вариантах применения гибкой оболочке сообщаются интенсивные перемещения, которые обеспечивают эффективное проведение рабочих процессов. С целью активизации технологических процессов рабочая камера может быть оснащена различными наборами интенсифицирующих устройств: цепями, зубьями, лопастями, ножами, щетками и т.д.

Основываясь на феноменологическом подходе и методе аналогий в качестве объектов для исследования выбраны одноволновой и двухволновой аппараты, соответствующие схемам 4 и 8 на рисунке 1. Приведем некоторые результаты исследования их рабочих процессов.

Аппарат с гибким одноволновым рабочим оборудованием. Общий вид одноволнового аппарата представлен на рисунке 2. Дополнительно к схеме 4 на рисунке 1 он снабжен интенсификаторами процесса, выполненными в виде свободно установленными на кронштейне в центральной части рабочей камеры цепными элементами.

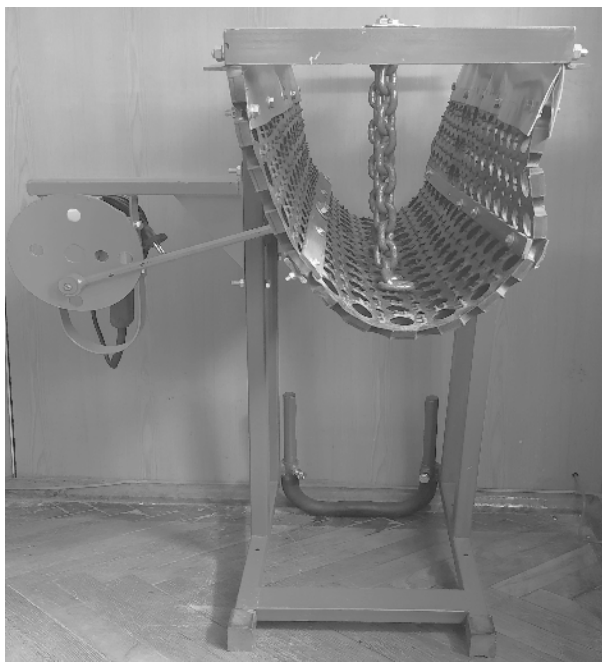


Рис. 2. Общий вид одноволнового аппарата

Технической гипотезой разработанной конструкции служит выполнение просеивающей поверхности, изогнутой по дуге и подверженной

таким колебаниям, которые приводят к перемещению разделяемого материала нормально по отношению к отверстиям на её внутренней поверхности α° .

Поставленная задача достигается тем, что в аппарате для грохочения трудноразделяемых материалов, содержащим раму, привод и просеивающую поверхность, согласно изобретению, просеивающая поверхность выполнена в виде установленного под углом к горизонту волнообразного гибкого перфорированного лотка, который посредством параллельной его продольной оси, закрепленной на одном из бортов выше нижней точки его провисания приводной планки связан с кривошипно-шатунным механизмом привода, а вторым бортом соединен с амортизаторами, закрепленными посредством опорной планки одним концом на стенке лотка выше нижней точки его провисания, а вторым концом на раме, причем приводная и опорная планки параллельны между собой.

В процессе работы аппарата волнообразному гибкому перфорированному лотку сообщаются интенсивные перемещения, что приводит в движение перерабатываемую среду, т.е. насыпной материал, который периодически сталкивается с поверхностью лотка, а куски или частицы, размер которых меньше размера просеивающих отверстий проходят через них в качестве подрешетного продукта. Волнообразная поверхность для просеивания обеспечивает сложное движение перерабатываемому продукту, частицы которого принудительно и с большим ускорением проталкиваются перед отверстием соответствующего им размера. В рабочей зоне происходит активное перемешивание, с поверхности кусков отбиваются мелкие частицы и пыль. При этом постепенно отсеивается мелкая фракция, а более крупная движется вниз по лотку. Именно такое конструктивное исполнение просеивающей поверхности и организация её движения способствует максимальной эффективности процесса грохочения. Резиновая гибкая кинематически деформируемая оболочка просеивающей поверхности полностью исключает налипание и забивание пропускных отверстий, а отсутствие в ней металлических элементов способствует значительному снижению шума при работе.

В дополнительных вариантах выполнения аппарата предусмотрено, что просеивающая поверхность выполнена из набора секций, размеры отверстий которых ступенчато увеличиваются от верхней части к нижней части лотка, причем просеивающая поверхность выполнена в виде листа из износостойкой резины, армированной высоко-

прочными волокнами, в частности металлическими. Для интенсификации процесса грохочения целесообразно над просеивающей поверхностью установить интенсификаторы процесса разделения, представляющие собой отрезки цепей, закрепленные одним концом на кронштейнах и свободно провисающих в центральной части гибкого перфорированного лотка, а для упрощения конструкции амортизаторов и улучшения демпфирования колебаний и возврата в крайнее положение их лучше всего изготавливать в виде цилиндрических пружин растяжения.

Для определения потенциальных возможностей одноволновых аппаратов проведён комплекс исследований по изучению процессов смешивания и разделения материалов по крупности, т.е. грохочения. Для этих целей использовалась установка со следующими характеристиками: размер рабочей камеры в плане – 650×250 мм, длина кривошипа – 30, 45, 60, 75 мм, частота вращения кривошипа – 0...600 об/мин, мощность приводного двигателя – 1,1 кВт. Для процесса смешивания гибкая рабочая камера выполнена в виде резинового листа, для процесса грохочения – перфорированного с круглыми отверстиями диаметром 30 мм.

Смешивание проводилось на сухих строительных смесях с крупностью заполнителя до 5

мм. В качестве ключевого компонента использовался рубленый квадратный полиэтилен размерами 5×1 мм. Исследовался один рабочий режим: частота вращения кривошипа $n = 300$ об/мин, длина кривошипа $r = 60$ мм. При этом переменным фактором служил угол наклона рабочей камеры к горизонту. Полученные результаты в виде графика влияния угла установки α° рабочей камеры на однородность смеси X и производительность Π смесителя представлены на рисунке 3 а.

Исследование процесса грохочения в волновом аппарате проводилось на различных отходах неопределённых размеров, формы, плотности и т.д. (твёрдые коммунальные отходы). Здесь также использовался один рабочий режим: частота вращения кривошипа $n = 300$ об/мин, длина кривошипа $r = 60$ мм, а переменным фактором служит угол наклона α° рабочей камеры к горизонту. Полученные результаты в виде графика влияния угла установки α° рабочей камеры на эффективность C грохочения и производительность Π грохота представлены на рисунке 3 б.

Визуальная оценка разделяемого в одноволновом аппарате материала иллюстрируется рисунком 4.

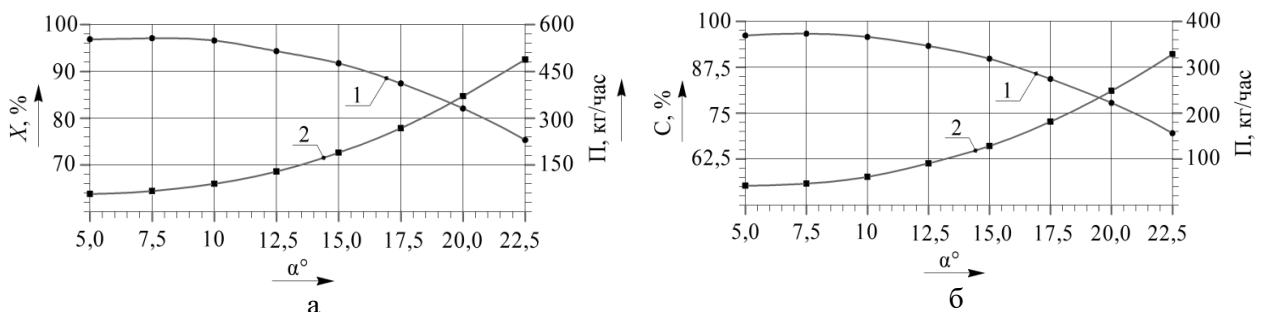


Рис. 3. Влияние угла установки α° рабочей камеры на эффективность работы процессы волнового аппарата а – процесс перемешивания; б – процесс грохочения



а



б

Рис. 4. Визуальная оценка разделяемого материала а – исходный материал; б – материал после грохочения

На основании проведённых экспериментов можно сделать вывод, что наиболее эффективной работа одноволнового аппарата на углах наклона рабочей камеры 12...15°. При этом расслоение смеси не наблюдалось, а в рабочей камере компоненты смеси достаточно равномерно распределяются как по длине, так и по сечению. Общее время нахождения исходных компонентов на волновом лотке, как правило, не превышает 8...10 секунд при общей высокой интенсивности процесса.

Оценивая работу волнового смесителя можно отметить, что подобный способ перемешивания грубодисперсных сред может найти применение для приготовления силикатных формовочных смесей, в технологиях получения жестких бетонных смесей, для приготовления комбикорма и т.д. В дальнейшем планируется исследовать влияние влажности исходных компонентов на кинетику и качество приготовленных смесей.

В процессе испытаний такого аппарата установлено, что перфорированная волновая поверхность при размерах отверстий 30 мм является эффективным рабочим оборудованием для сортировки трудноразделяемых материалов. На такой поверхности отсутствует налипание, а просеивающие отверстия не забиваются исходными кусками. Полученные зависимости показывают, что перспективной областью использования одноволнового грохота является разделение неоднородных и сложных по составу и свойствам материалов, в том числе твердых коммунальных отходов.

Итоговой оценкой разработанного одноволнового оборудования, а это в равной степени относится и к смесителю, и к грохоту, следует считать его хорошую работоспособность и достаточно высокую технологическую эффективность. Для доведения представленных конструкций до промышленного использования необходимо выполнить соответствующий этап НИОКР, а также разработать технологию изготовления волновых рабочих органов, которые бы отличались износостойкостью, усталостной прочностью, малыми сопротивлениями деформированию и т.д.

Двухволновой цепной агрегат. Практическая реализация аппарата соответствующего кинематической схеме №8, осуществлена в виде двухволнового цепного агрегата [7], а его общий вид представлен на рисунке 5.

Работа цепного агрегата происходит следующим образом. Электродвигатель приводит в действие кривошип 1, который вращается с заданной частотой вращения. Один конец шатуна 2

связан с кривошипом 1, а другой с маятниковыми рычагами 3. Шатун 2, совершая плоскопараллельное движение, приводит в действие маятниковые рычаги 3, на котором жестко закреплена штанга 4, при этом движение сообщается цепным полотнам 6 (на которых могут быть установлены съемные планки 7) и гибким стенкам 5. Таким образом, всё рабочее оборудование совершает вынужденные колебания с определенной частотой и амплитудой, величины которых можно изменять в определенном диапазоне.

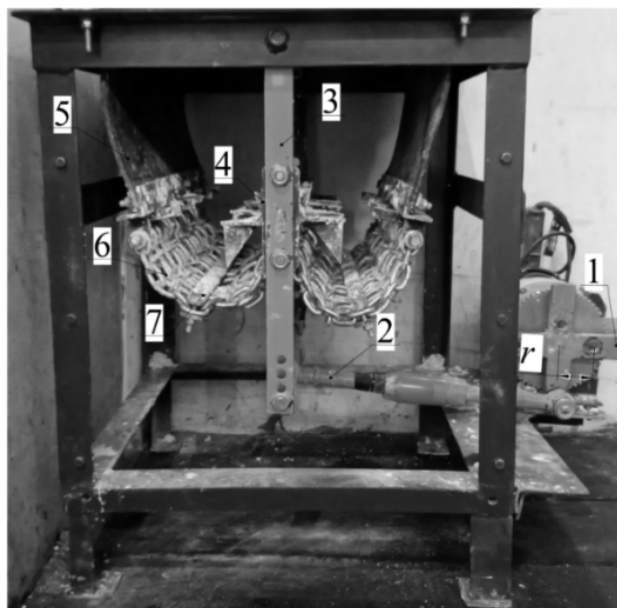


Рис. 5. Общий вид двухволнового цепного агрегата
1 – кривошип; 2 – шатун; 3 – маятниковые рычаги (второй на рисунке не показан);
4 – штанга; 5 – гибкие стенки; 6 – цепные полотна;
7 – съемные планки; r – длина кривошипа

Спроектированный цепной агрегат имеет размеры приемного отверстия в плане 450×350 мм, объем рабочей камеры 0,046 м³, мощность приводного электродвигателя 1,1 кВт. Частота вращения кривошипа n_k изменяется плавно в диапазоне 0...600 об/мин, а его длина r изменяется ступенчато – 30, 45, 60, 75 мм.

Технологические испытания двухволнового цепного агрегата проводились на различных кусковых материалах: мелоглинистом с размером исходной фракции 5...100 мм и влажностью 15...18 %, комовой глины влажностью 12...15 %, известковом материале крупностью 20...50 мм и влажностью 2...5 %, отходах извола в виде рассыпчатого материала с размерами единичных кусков 30...100 мм, сухих и увлажненных смесей перечисленных материалов, а также мела влажностью 21...26 % и крупностью 0...100 мм.

Процесс измельчения перечисленных материалов заключался в сочетании нескольких

способов силового воздействия на материал, а именно ударного, раскалывающего и истирающего. При этом волновые поверхности за счет перемещений маятниковых рычагов изменяли свою форму и, таким образом, сообщали обрабатываемым материалам смежные движения с периодической подачей его на ударные элементы. Цепные полотна измельчение практически не производят, а выполняют функции грохота с границей разделения соответствующей зазором между звеньями цепных элементов, которые в приведенном варианте выполнения рабочего оборудования составляли 25...28 мм.

На основании данных технологических испытаний установлено, что одной из перспективных областей использования цепного агрегата является его применение при переработке мела в технологии производства извести сухим способом [9, 10]. В качестве перерабатываемого материала использовался мел, применяемый в ОАО «Красносельскстройматериалы» при производстве извести.

С учетом представленных в работах [4, 11–13] рекомендаций, нами выбраны требования к

условиям технологической подготовки мела к обжигу: фракционный состав сырья должен находиться в пределах 5...25 мм; сырье должно иметь близкие по размеру частицы; после измельчения частицы должны иметь неправильную округлую форму с многогранной рыхлой поверхностью. Руководствуясь данными условиями, были проведены исследования, направленные на получения материала, соответствующего этим требованиям.

Поэтапно проведем анализ выполнения данных требований при использовании цепного агрегата в качестве машины для первичного измельчения сырья.

С учетом сформулированных требований следует определить выход фракции мела в предпочтительном диапазоне 5...25 мм. Эксперименты проводились на материале влажностью 21...26 % и среднем размере исходной фракции 38 мм. Доля фракции 0...5 мм в исходном материале составляла 20 %. Варьируемые факторы – частота вращения кривошипа n_k и его длина r . Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунке 6.

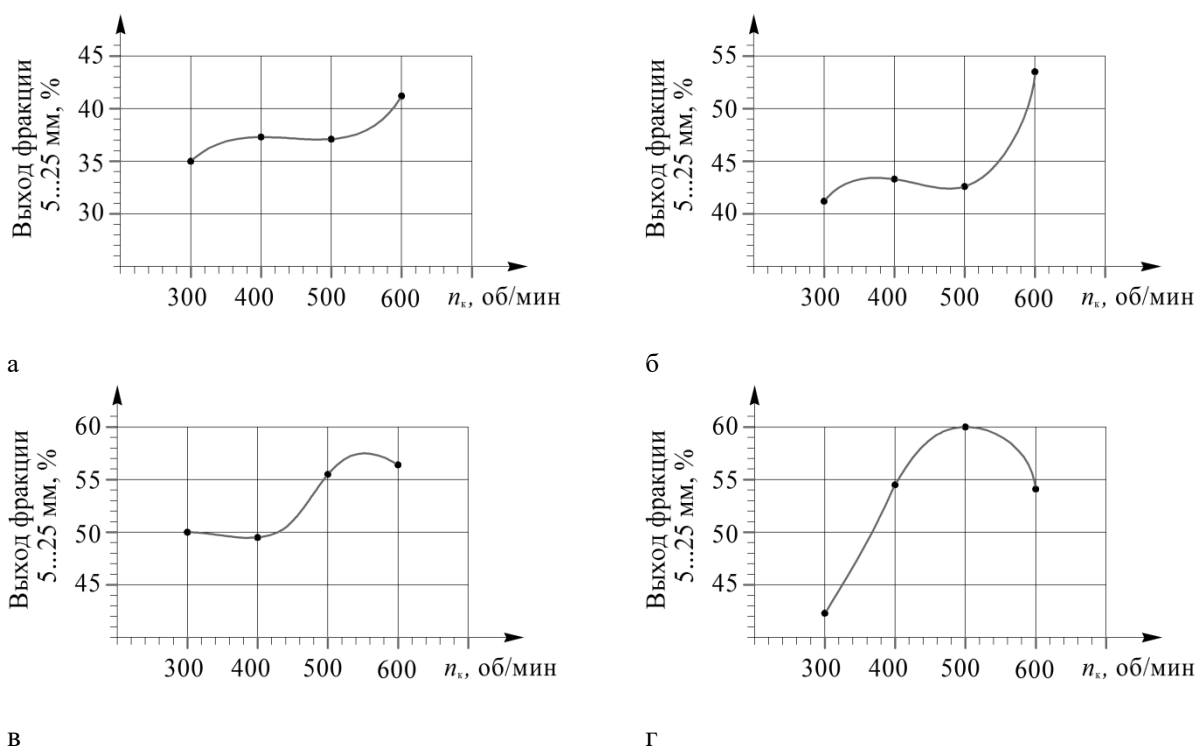


Рис. 6. Влияние частоты вращения n_k и длины кривошипа r на процесс измельчения мела
 а – длина кривошипа $r = 30$ мм; б – длина кривошипа $r = 45$ мм; в – длина кривошипа $r = 60$ мм;
 г – длина кривошипа $r = 75$ мм

Анализируя полученные результаты можно сделать заключение, что выход фракции мела в диапазоне 5...25 мм зависит от варьируемых факторов. При длине кривошипа $r = 30$ и 45 мм выход предпочтительной фракции находится на уровне 35...53,5 %, а при длине кривошипа $r = 60$

и 75 мм — 49,5...60 %. Следует отметить, что повышение частоты вращения n_k при больших значениях длины кривошипа r приводит к снижению выхода предпочтительной фракции, это обусловлено многократным силовым воздействием

на материал, который не успевает покинуть камеру цепного агрегата и в конечном итоге приводит к переизмельчению сырья.

Выполнение второго условия было оценено по выходу предпочтительной фракции в виде двух групп 5...15 и 15...25 мм. Выход фракции 15...25 мм преобладал и в среднем изменялся в диапазоне 50...70 % в зависимости от варьируемых факторов. Таким образом, можно сделать заключение, что материал, достигший размера просеивающих отверстий, быстро удаляется из рабочей камеры, что является свидетельством высокой селективной способности такого оборудования [14].

После переработки частицы мела имеют многогранную рыхлую поверхность (рис. 7), что соответствует изложенным требованиям подготовки сырья перед обжигом.



Рис. 7. Состав материала после измельчения в цепном агрегате

Проведенное исследование свидетельствует о потенциале цепных агрегатов, как о машинах, способных выполнять технологические задачи по переработке различных сырьевых материалов, в частности переработки мела в технологии производства извести сухим способом. Следует отметить, что цепной агрегат может быть использован не только в качестве машины для осуществления измельчения неоднородных и сложных по составу и свойствам материалов, но и в качестве грохота, например, для очистки балласта на железной дороге, сортировки твердых коммунальных, строительных и промышленных отходов и решения ряда других технологических задач [15].

Выводы

1. Сформулирована концепция использования рабочих камер технологических машин в

виде кинематически деформируемых волновых гибких сплошных, перфорированных или составных оболочек внутренние поверхности или элементы которых, обеспечивают проведение соответствующих процессов смешивания, измельчения и разделения материалов по крупности.

2. Разработаны варианты конструктивных решений волновых аппаратов и на основе их конструктивного анализа для проведения технологических испытаний и практической реализации выбраны одноволновой аппарат с боковым приводом и двухволновой с верхним подвесом маятниковых рычагов.

3. На созданном экспериментальном оборудовании проведен комплекс технологических исследований по переработке различных материалов и в результате которых установлено, что на одноволновом аппарате можно с высокой эффективностью производить перемешивание и разделение материалов по крупности, а на двухволновом перерабатывать влажные сырьевые материалы и различные виды отходов с возможностью селективного управления качеством обработанных продуктов. Энергетические затраты на проведение этих процессов ниже по сравнению с оборудованием аналогичного назначения.

4. Обоснованы некоторые направления развития волновых аппаратов, включающие оптимизацию их геометрических, кинематических и энергосиловых параметров, определение рациональных областей использования, а также выбор материалов и технологий для изготовления рабочего оборудования в целом и отдельных его элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ревнивцев В.И., Гапонов Г.В., Зарогатский Л.П., Костин И.М., Финкельштейн Г.А., Хопунов Э.А., Яшин В.П. Селективное разрушение минералов. М.: Недра, 1988. 286 с.
2. Бабенко С.А., Ильин А.П., Коробочкин В.В., Семакина О.К. Порошки (получение, свойства, анализ): монография. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 264 с.
3. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Высшая школа, 1971. 382 с.
4. Богданов В.С., Ильин А.С., Семикопенко И.А. Процессы в производстве строительных материалов и изделий: учебник. Белгород: «Везелица», 2007. 512 с.

5. Сиваченко Л.А., Голушкова О.В., Шуляк В.А., Кутынка Е.И., Богатырев М.Г. Технологические аппараты адаптивного действия: монография. Минск: БГУ, 2008. 375 с.

6. Сиваченко Л.А., Сотник Л.Л., Сиваченко Т.Л., Потапов В.А., Абдукаликова Г.М., Корзун И.М., Наливко О.И., Дыдышко И.М. Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия: монография. Барановичи: БарГУ, 2020. 359 с.

7. Пат. 038851, Евразийский патент, МПК В02С19/16. Агрегат для переработки неоднородных и сложных по составу и свойствам материалов / Л.А. Сиваченко, В.А. Потапов, Т.Л. Сиваченко; заявитель и патентообладатель Сиваченко Л.А., Потапов В.А., Сиваченко Т.Л. №202090391; заявл. 26.02.2020; опубл. 28.10.2021, Бюл. №10. 9 с.

8. Кожевников С.Н., Есипенко Я.И., Раскин Я.М. Механизмы: справочное пособие. М.: Машиностроение, 1976. 784 с.

9. Сиваченко Л.А., Потапов В.А. Использование цепного агрегата в технологии производства извести // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: материалы Международной научно-практической конференции. Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. С. 366–369.

10. Потапов В.А., Сиваченко Л.А., Дремук В.А. Исследование влияния режимов работы

цепного агрегата на показатели процесса измельчения мела в технологии производства извести // Вестник БарГУ. Серия «Технические науки». 2021. №9. С. 37–43.

11. Максименко В.Л., Кузьменков М.И., Лукаш Е.В., Стародубенко Н.Г. Совершенствование технологии производства строительной извести из переувлажненного сырья // Новейшие достижения в области инновационного развития в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы Международной научно-технической конференции. Минск: Изд-во БГТУ, 2015. С. 66–69.

12. Монастырев А.В. Пути снижения расхода топлива при обжиге мела с получением извести в длинных вращающихся печах // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 9–15.

13. Бутт Ю.М., Окороков С.Д., Сычев М.М., Тимашев В.В. Технология вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1965. 620 с.

14. Попов А.М., Руднев С.Д., Рыбина О.Е. О селективном измельчении, селективности измельчения и селективной функции // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2006. № 5. С. 42–44.

15. Сиваченко Л.А., Сиваченко Т.Л. Технологическое машиностроение – инновационный резерв мировой экономики: монография. Могилев: БРУ, 2017. 254 с.

Информация об авторах

Сиваченко Леонид Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры транспортных и технологические машины. E-mail: 228011@mail.ru. Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет». Республика Беларусь, 212000, Могилев, пр-т. Мира, д. 43.

Потапов Владимир Александрович, старший преподаватель кафедры технического обеспечения процессов сельскохозяйственного производства и агрономии. E-mail: vladimir-potapov-1990@mail.ru. Барановичский государственный университет, Республика Беларусь, 225404, г. Барановичи, ул. Войкова, д. 21.

Кузьменкова Мария Сергеевна, аспирант кафедры технологии и оборудования машиностроения. E-mail: mariyask@yandex.ru. Барановичский государственный университет, Республика Беларусь, 225404, г. Барановичи, ул. Войкова, д. 21.

Поступила 01.07.2022 г.

© Сиваченко Л.А., Потапов В.А., Кузьменкова М.С., 2022

^{1,*}*Sivachenko L.A.*, ²*Potapov V.A.*, ²*Kuzmenkova M.S.*

¹*Belarusian-Russian University*

²*Baranovichi State University*

*E-mail: 228011@mail.ru

MULTIFUNCTIONAL TECHNOLOGICAL APPARATUSES WITH FLEXIBLE WAVE WORKING EQUIPMENT

Abstract. The article deals with problematic issues related to the complex processing of materials that are heterogeneous and complex in composition and properties. The necessity of its technological moderniza-

tion and development is substantiated on the basis of assessment of the technical level of the existing equipment. For the first time, the concept of creating technological machines with a kinematically deformable wave working chamber is proposed and substantiated. Variants of technological solutions for one- and two-wave apparatuses have been developed. They can be used for mixing, grinding and separating materials by size. The main features of the behavior of flexible wave surfaces when interacting with the processed medium are shown. The design of two experimental installations is described, their technical characteristics are given, the composition of the processed materials is stated. The results of experimental studies on the processing of quarry chalk, building mixtures and municipal solid waste are presented. The data obtained make it possible to judge a sufficiently high technological efficiency and the need for further development of devices with wave working equipment, which is expressed in a sufficiently high quality of the products obtained, the ability to control their particle size distribution, the ability to work in conditions of an abrupt change in the properties of the treated medium, including due to self-cleaning elements of the working chamber and the elimination of jamming of pieces of material in the working areas and the combination of various technological functions in one apparatus.

Keywords: wave apparatus, grinding, mixing, screening, flexible chamber, adaptability, chain unit, process efficiency.

REFERENCES

1. Revnivitsev V.I., Gaponov G.V., Zarogatsky L.P., Kostin I.M., Finkelstein G.A., Hopunov E.A., Yashin V.P. Selective mineral destruction. [Selektivnoe razrushenie mineralov]. Moscow: Nedra, 1988. 286 p. (rus)
2. Babenko S.A., Ilyin A.P., Korobochkin V.V., Semakina O.K. Powders (obtaining, properties, analysis). [Poroshki (poluchenie, svojstva, analiz)]: monograph. Tomsk: Publishing House of TPU, 2011. 264 p. (rus)
3. Sapozhnikov M.Ya. Mechanical equipment of enterprises of building materials, products and structures. [Mekhanicheskoe oborudovanie predpriyatij stroitel'nyh materialov, izdelij i konstrukcij]. Moscow: Higher school, 1971. 382 p. (rus)
4. Bogdanov V.S., Ilyin A.S., Semikopenko I.A. Processes in the production of building materials and products. [Processy v proizvodstve stroitel'nyh materialov i izdelij]: textbook. Belgorod: "Vezelitsa", 2007. 512 p. (rus)
5. Sivachenko L.A., Golushkova O.V., Shulyak V.A., Kutynko E.I., Bogatyrev M.G. Technological apparatuses of adaptive action. [Tekhnologicheskie apparaty adaptivnogo dejstviya]: monograph. Minsk: BGU, 2008. 375 p. (rus)
6. Sivachenko L.A., Sotnik L.L., Sivachenko T.L., Potapov V.A., Abdusalikova G.M., Korzun I.M., Nalivko O.I., Dydysenko I.M. Intensification of technological processes in apparatuses of adaptive action. [Intensifikatsiya tekhnologicheskikh processov v apparatah adaptivnogo dejstviya]: monograph. Baranovichi: BarSU, 2020. 359 p. (rus)
7. Sivachenko L.A., Potapov V.A., Sivachenko T.L. Unit for processing heterogeneous and complex in composition and properties of materials. Eurasian patent, no. 202090391, 2021.
8. Kozhevnikov S.N., Esipenko Ya.I., Raskin Ya.M. Mechanisms. [Mekhanizmy]: Reference manual. Moscow: Mashinostroenie, 1976. 784 p. (rus)
9. Sivachenko L.A., Potapov V.A. Use of a chain unit in lime production technology. [Ispol'zovanie cepnogo agregata v tekhnologii proizvodstva izvesti]. Energy-resource-saving technologies and equipment in the road and construction industries: materials of the International Scientific and Practical Conference. Belgorod: Publishing House of BSTU, 2020. Pp. 366–369. (rus)
10. Potapov V.A., Sivachenko L.A., Dremuk V.A. Research of the influence of the operating modes of the chain unit on the indicators of the process of grinding chalk in the technology of lime production. [Issledovanie vliyaniya rezhimov raboty cepnogo agregata na pokazateli processa izmel'cheniya mela v tekhnologii proizvodstva izvesti]. Bulletin of BarSU. Series "Technical Sciences". 2021. No. 9. Pp. 37–43. (rus)
11. Maksimenko V.L., Kuzmenkov M.I., Lukash E.V., Starodubenko N.G. Improving the technology for the production of building lime from waterlogged raw materials. [Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva stroitel'noj izvesti iz pereuvlazhnennogo syr'ya]. Latest achievements in the field of innovative development in the chemical industry and production of building materials: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference. Minsk: Publishing House of BSTU, 2015. Pp. 66–69. (rus)
12. Monastyrev A.V. Ways to reduce fuel consumption when firing chalk to obtain lime in long rotating furnaces. [Puti snizheniya raskhoda topliva pri obzhige mela s polucheniem izvesti v dlinnyh vrashchayushchihnya pechah]. Construction materials. 2010. No. 9. Pp. 9–15. (rus)
13. Butt Yu.M., Okorokov S.D., Sychev M.M., Timashev V.V. Technology of binders. [Tekhnologiya vyazhushchih veshchestv]. Moscow: Higher school, 1965. 620 p. (rus)

14. Popov A.M., Rudnev S.D., Rybina O.E. About selective grinding, selectivity of grinding, and selective function. [O selektivnom izmel'chenii, selektivnosti izmel'cheniya i selektivnoj funkcii]. Proceedings of higher educational institutions. Food technology. 2006. No. 5. Pp. 42–44. (rus)

15. Sivachenko L.A., Sivachenko T.L. Technological mechanical engineering is an innovative reserve of the world economy. [Tekhnologicheskoe mashinostroenie – innovacionnyj rezerv mirovoj ekonomiki]: monograph. Mogilev: BRU, 2017. 254 p. (rus)

Information about the authors

Sivachenko, Leanid A. DSc, Professor E-mail: 228011@mail.ru. Interstate educational institution of higher education "Belarusian-Russian University", Republic of Belarus, 212000, ave. Mira, 43.

Potapov, Vladimir A. Senior lecturer. E-mail: vladimir-potapov-1990@mail.ru. Baranovichi State University, Republic of Belarus, 225404, Baranovichi, st. Voykova, 21.

Kuzmenkova, Maria S. Postgraduate student. E-mail: maryiask@yandex.ru. Baranovichi State University, Republic of Belarus, 225404, Baranovichi, st. Voykova, 21.

Received 01.07.2022

Для цитирования:

Сиваченко Л.А., Потапов В.А., Кузьменкова М.С. Многоцелевые технологические аппараты с гибким волновым рабочим оборудованием // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 9. С. 88–98. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-88-98

For citation:

Sivachenko L.A., Potapov V.A., Kuzmenkova M.S. Multifunctional technological apparatuses with flexible wave working equipment. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 9. Pp. 88–98. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-88-98