

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Севостьянов В.С., д-р техн. наук, проф.,  
Сиваченко Т.Л., соискатель,

Михайличенко С.А., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ С ИГЛОФРЕЗЕРНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

dist@intbel.ru

*Описано современное состояние техники в области дезинтеграторной обработки анизотропных композиционных материалов. Выявлены основные направления развития технических средств для их комплексной переработки. Предложены и описаны технологические агрегаты с иглофрезерными рабочими органами для измельчения, диспергирования и механоактивации материалов с различными свойствами. Отмечено, что измельчение анизотропных материалов торцевыми поверхностями стержневых элементов при центральном сжатии энергетически более эффективно, чем их разрушение между плоскими поверхностями. На экспертном уровне дана оценка рациональных областей использования и потенциала развития технологических агрегатов с иглофрезерными рабочими органами.*

**Ключевые слова:** Технологический агрегат, иглофрезерный измельчитель, анизотропные материалы, разрушение, истирание, срез.

Измельчение для многих отраслей промышленности, в частности для производства строительных материалов, имеет чрезвычайно важное значение. Это самая массовая и самая энергоемкая из всех реализуемых в настоящее время технологических операций.

Анализ исследований механизмов разрушения материалов показывает, что из всего их многообразия наибольшее распространение имеют удар, раздавливание, истирание, а также различные их вариации. По этой причине в измельчительных установках доминируют шаровые, роторные, молотковые, валковые, конусные и другие аппараты [1-4].

Одной из основных задач, стоящих перед учеными в области прикладной механики разрушения, является уменьшение затрат энергии на внешнее и внутреннее трение непосредственно самого процесса измельчения. В последние десятилетия в дезинтеграторных технологиях широкое распространение получили агрегаты для механоактивации и направленного изменения свойств перерабатываемого материала: селективное разрушение, механосинтез, управляемая тиксотропия структуры и др. Из актуальных технологических задач, основу которых составляют процессы измельчения, особо следует выделить переработку анизотропных материалов природного и техногенного происхождения,

в том числе твердых бытовых и промышленных отходов, органогенных материалов, растительного сырья, композиционных и сложных по структуре и составу компонентов.

Новым направлением решения поставленных задач может быть создание многофункциональных технологических агрегатов на основе иглофрезерных рабочих органов, обеспечивающих избирательное комплексное воздействие на обрабатываемые материалы консольными концами своих стержневых элементов и создание энергоэффективных механизмов разрушения [2, 3].

Ближайшими конструктивными аналогами, которые могут служить основой для проектирования стержневых аппаратов, являются широко применяемые в технике щетки, скребки, гребни, иглофрезы и другие инструменты. Их технологические функции состоят, прежде всего, в реализации сдвиговых воздействий на обрабатываемые поверхности для их очистки, снятия поверхностных слоев материала или финишной обработки.

По имеющейся информации [4, 5] применение стержневых элементов для создания помольных агрегатов промышленного назначения не имеет практической реализации.

Из всего многообразия известных в технике наборов стержневых элементов, образующих

иглофрезы различных конструкций, можно выделить наиболее распространенные: дисковые, цилиндрические, плоские, пальцевые и др. (рис.1).

Для подтверждения возможности интенсификации процессов измельчения посредством стержневых элементов были проведены необходимые экспериментальные исследования на моделях. Установлено, что для единичных актов измельчения при использовании набора парал-

лельных стержней наблюдается значительное увеличение выхода мелких классов, т.е. происходит более эффективное разрушение, чем при раздавливании материала между плоскими параллельными поверхностями. В предлагаемых вариантах измельчения за основу приняты решения, когда стержни воздействуют на материал своими торцевыми поверхностями, что связано с необходимостью многократного увеличения контактных напряжений в материале [7].



Рис. 1. Разновидности иглофрезерных элементов

Проектирование стержневых аппаратов требует учета особенностей поведения рабочих элементов в зависимости от свойств перерабатываемых материалов и решения конкретных технологических задач. Используя подход ана-

логии, учитывающий предшествующий опыт создания и эксплуатации помольного оборудования, представим базовые варианты актов стержневого измельчения (рис. 2).

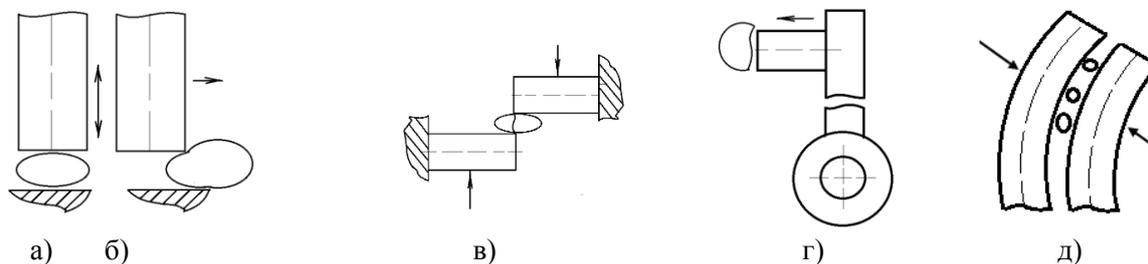


Рис. 2. Базовые варианты разрушения частиц материала стержнями иглофрез.

На представленных схемах приведены идеализированные варианты разрушения: а – ударно-раздавливающее разрушение, б – истирание, в – срез, г – свободный удар, д – сжатие по образующим стержней. Эти виды разрушения необходимо правильно сочетать с конкретной конструкцией иглофрезы, условиями переработки материала, видом приводного механизма и другими исходными условиями их работы. С уче-

том вышеуказанного представим варианты единичных актов иглофрезерного измельчения (рис. 3).

Для удобства использования и расширения охвата конструктивного исполнения механизмы стержневого измельчения по видам воздействия разделены на 5 групп: торцевые импульсные, срезающе-сдвиговые, истирающие, по торцевым поверхностям высокоскоростные удары и

истирающие по образующим стержней. Механизмы стержневого измельчения определяют

сях конструктивным исполнением. Рассмотрим более подробно каждый из них.

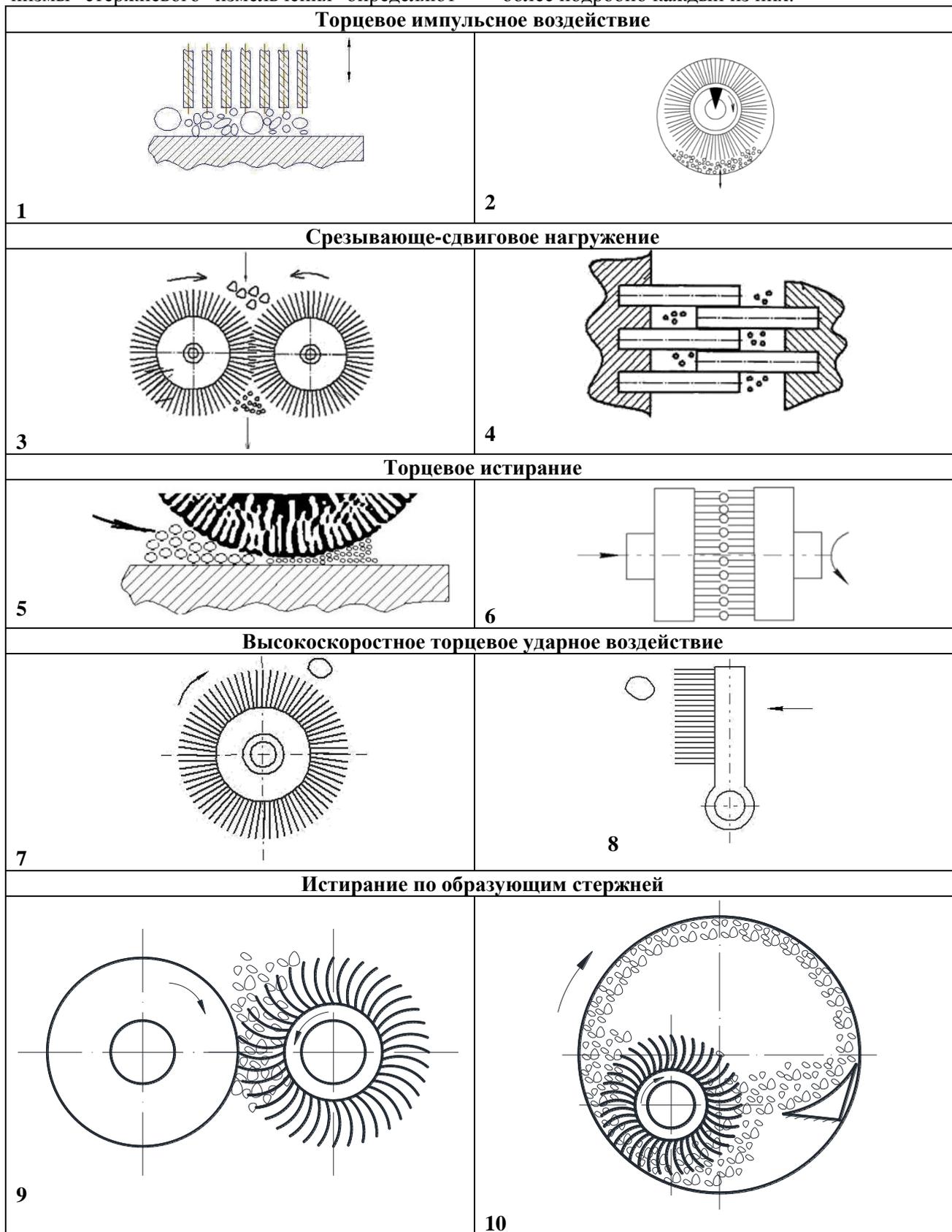


Рис. 3. Варианты единичных актов иглофрезерного измельчения

**Схема 1.** Параллельные между собой стержни своими торцами периодически совершают воздействия на частицы материала, находящегося на опорной поверхности. Конструк-

тивно этот вариант представляет собой плоскую иглофрезу, связанную с приводом возвратно-поступательного перемещения. Обладает простотой исполнения, но характеризуется высоки-

ми динамическими нагрузками. При этом достигается очень высокий уровень энергонапряженности рабочего процесса, что позволяет производить обработку продуктов без их ограничения по прочности и абразивности.

**Схема 2.** Схожий со схемой 1 механизм разрушения. Отличается в части исполнения набора стержневых элементов, выполняемого в форме цилиндрической иглофрезы, что изменяет картину разрушения материала, так как при этом чистое сжатие заменяется преимущественно сжатием со сдвигом. В целом параметры единичных актов разрушения мало отличаются от схемы 1.

**Схема 3.** Стержни двух параллельных между собой цилиндрических иглофрез в зонах их образующих входят друг в друга и за счет синхронного вращения производят комплексное воздействие на частицы материала способом среза, истирания, раздавливания, ударов. Реализация этого механизма разрушения отличается простотой, возможностью работы по сухому или мокрому способу и высокой удельной энергонапряженностью.

**Схема 4.** Консольные части стержневых элементов плоских и параллельных между собой иглофрез совершают возвратно-поступательные перемещения друг относительно друга с преобладающим срезающе-сдвиговым нагружением. Возможно применение при обработке органического сырья и малоабразивных минералов.

**Схема 5.** Стержневые элементы цилиндрической иглофрезы при ее вращении захватывают куски исходного материала и протягивают его между своими торцами и неподвижным корпусом, где и производится интенсивное разрушение истирающим воздействием. В определенном смысле - это аналог процесса иглофрезерования.

**Схема 6.** Разрушение материала осуществляется между двумя дисками, оснащенными стержнями, торцы которых обращены навстречу друг другу. По меньшей мере один из дисков является подвижным. Центробежными силами измельчаемый материал отбрасывается к периферии и проходя между торцами, движущихся навстречу друг другу, стержней, интенсивно измельчается. Применение такого способа диспергирования особенно эффективно для органических продуктов, малоабразивных суспензий, эмульсий и приготовления однородных композиций.

**Схема 7.** Высокоскоростной свободный удар производится стержнями цилиндрической иглофрезы. В процессе ее взаимодействия с частицами обрабатываемого материала происходят множественные сколы и срезы микрообъемов с более крупных кусков. Реализация этой схемы представляется перспективной для пере-

работки органических продуктов, домола малоабразивных минералов и приготовления различных смесевых составов.

**Схема 8.** Рабочий орган такого типа можно использовать в молотковых дробилках для осуществления тонкого дробления или грубого помола минерального сырья по сухому способу. Наличие множества стержневых элементов в составе предлагаемого била позволяет увеличить число зон разрушения и существенно интенсифицировать рабочий процесс.

**Схема 9.** Изогнутые стержни упираются своими концами в опорную поверхность второго элемента, например, валка, деформируются и при этом разрушают попадающий между ними зернистый материал путем раздавливания частиц между своими боковыми поверхностями.

**Схема 10.** Отличается от схемы 9 тем, что опорная поверхность выполнена в виде охватывающего иглофрезу барабана. Это улучшает условия захвата частиц материала и позволяет производить их многократную обработку и, соответственно, осуществлять тонкий помол.

В качестве материала для изготовления стержневых элементов иглофрез рекомендуется использовать стальную проволоку круглого сечения по ГОСТ 2333-80 диаметром от 0,1 мм до 10,0 мм. Для этих целей подходит проволока стальная углеродистая пружинная по ГОСТ 9389-75. Для создания крупных помольных машин в качестве стержневых элементов для рабочих органов типа иглофрез вполне применимы отрезки канатов, которые в полной мере отвечают изложенным ранее требованиям.

В первом приближении с достаточной степенью точности рациональную область технологического использования измельчителей с иглофрезерными рабочими органами можно оценить на основе анализа основных видов разрушения материала стержневыми элементами (рис. 2).

По нашему мнению, конструкции, соответствующие схемам «а» и «д», могут быть использованы для измельчения твердых и абразивных материалов, преимущественно минерального происхождения. С их помощью также целесообразно перерабатывать многие техногенные продукты: золы, шлаки, композиты, производить селективное измельчение, диспергировать сыпучие и жидкотекучие композиции, осуществлять механоактивацию многих природных и техногенных материалов.

Реализация измельчения путем истирания (рис. 2 схему «б») позволяет эффективно перерабатывать материалы средней и малой прочности, как природного, так и техногенного происхождения. Наличие множества режущих кромок создает необходимые условия образования большого количества преимущественно линей-

ных дефектов на поверхности частиц трудно измельчаемых материалов и ведет к последовательному их разрушению.

Измельчение способом среза (рис. 2 схему «в») по большинству признаков аналогично предшествующей конструкции, но отличается более высокой интенсивностью процесса, что объясняется наличием рельефной второй опорной поверхности, а также возможным взаимным перемещением двух иглофрезерных частей конструкции, что позволяет эффективно измельчать волокнистые и неоднородные материалы: древесину, пластмассу, резиновую крошку, текстиль, макулатуру и др.

Свободный удар (рис. 2 схему «г») может найти применение в тех случаях, когда необходимо измельчать минеральные и органические материалы, совмещать между собой процессы помола и сушки, помола и смешивания, селективного измельчения, механоактивации. Таким способом можно получить более дисперсный продукт, так как развитая рельефная рабочая поверхность способствует концентрации локальных напряжений в частицах материала в момент их удара по стержням, торцы которых изменяют характер движения частиц по рабочей поверхности и исключают их вынос аэродинамическим потоком из рабочей зоны.

Для выбора эффективных вариантов технологического применения механизмов единичных актов иглофрезерного измельчения и снижения объемов поисковых исследований нами проведен отбор наиболее перспективных схем реализации процессов. Нами использован метод феноменологического анализа и аналогий. Исходными условиями при этом были приняты интенсивность процесса измельчения, простота изготовления нового оборудования, его высокая износостойкость, возможность создания аппаратов большого гипоиэмеримого ряда и функциональных применений.

Руководствуясь перечисленными требованиями в качестве базовых вариантов единичных актов иглофрезерного измельчения выбраны схемы 1, 3, 4, 7, 9, которые относятся к различным видам воздействия на перерабатываемые материалы. Каждый из них обладает индивидуальными возможностями, которые предполагают их использование для переработки соответствующих материалов.

На основе единичных актов стержневого измельчения разработан ряд конструкций измельчителей с иглофрезерными рабочими органами. Схемы некоторых из них представлены на рис. 4. Представим им краткое описание.

**Схема 1.** Измельчитель истирающего действия с радиальными стержневыми элементами. Конструкция содержит основание 1, камеру для

обработки материала 2 с устройствами для загрузки 3 и выгрузки 4, установленным в ней с возможностью вращения ротор 5 с рабочим органом 6, оснащенный игольчатыми элементами 7. Камера 2 имеет зоны входа 10 и выхода 11 материала из рабочего пространства, где происходит процесс измельчения. Интенсивность процесса во многом зависит от зазора между стенками рабочей камеры 2 и торцами стержней рабочего органа 6. Для управления потоками движения материала предусмотрена перегородка 12.

**Схема 2.** Измельчитель истирающего действия с торцевыми стержневыми элементами. Устройство включает в себя приводной вал 1, планшайбу 2 с игольчатыми элементами 3, опорную плиту 4 и патрубок 5 для подачи исходного материала. Измельчитель может работать по сухому или мокрому способу. При этом сырьевой материал через патрубок 5 поступает в рабочую зону между торцами элементов 4 и опорной плитой. Материал измельчается способом сдвига, среза или истирания. Рабочий процесс может производиться как с зазором, так и с контактом между собой торцев элементов 3 и плиты 4. Обрабатываемый продукт под действием центробежных сил движется от центра рабочего органа к его периферии.

**Схема 3.** Вибрационная мельница. Содержит приводной электродвигатель 1, вал 2 которого через эластичную муфту 3 связан с валом 4 дебалансного вибратора 5. Внешняя поверхность последнего снабжена секциями 6 иглофрезерных элементов, которые с зазором расположены в рабочей камере 7, установленной на раме 8. Рама снабжена патрубками для загрузки 9 и выгрузки 10 материала. Мельница предназначена для мокрого измельчения способом торцевых соударений стержневых элементов секций 6 и стенкой рабочей камеры 7, создаваемых дебалансным вибратором 5.

**Схема 4.** Мельница виброударного действия. Установка работает по принципу высокочастотных центральных ударов. Для этого на раме 1 с помощью оси 2 смонтировано коромысло 3, на одной консоли которого закреплен вибратор 4, а на другой - игольчатый рабочий орган 5. Для управления работой ударного механизма предусмотрена возвратная пружина 6. Разрушение материала происходит торцами стержней рабочего органа 6 на опорной плите 7. Исходный материал подается в рабочие зоны через патрубок 8, а для выгрузки измельченного продукта, обрабатываемого по мокрому способу, служит лоток 9.

**Схема 5.** Барабанно-валковая мельница. Основу мельницы составляет вращающийся горизонтальный барабан 1, опирающийся на роли-

ки 2, внутри которого смонтирован цилиндрический игольчатый рабочий валок 3. Для создания необходимых условий измельчения валок 3 с помощью прижимного устройства 4 торцами своих стержней сжимает частицы материала,

движущиеся на внутренней поверхности барабана 1 и разрушает их. Загрузка сырьевого материала осуществляется посредством патрубка 5, а для устранения его налипания на стенки барабана служит скребок 6.

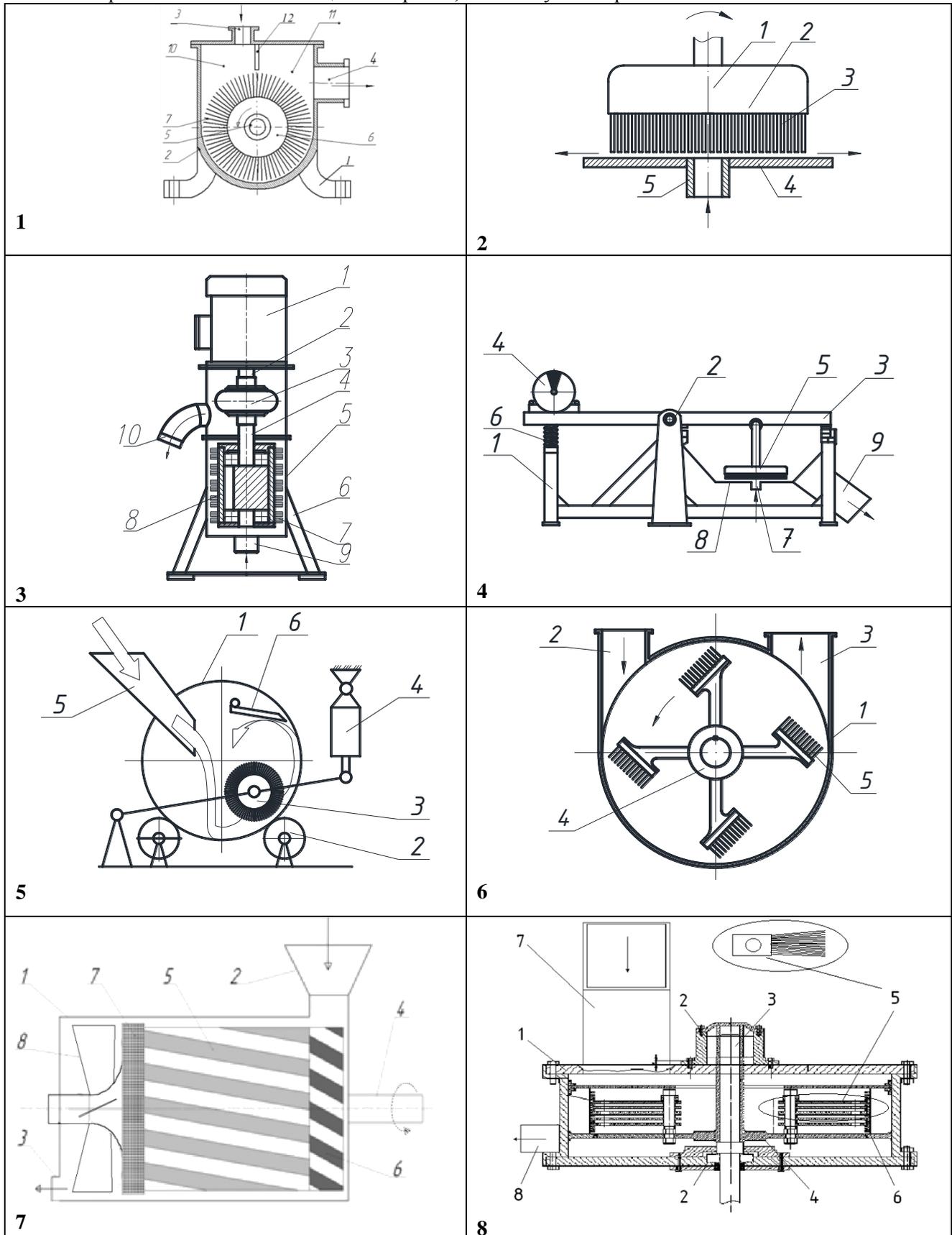


Рис. 4. Варианты конструкций измельчителей с игольфрезерными рабочими органами

**Схема 6.** Дробилка ударного действия. В рабочей камере 1, содержащей патрубки 2,3 для загрузки и выгрузки материала, вращается ротор 4 с рабочими органами 5, выполненными в виде прямоугольных щёток. Измельчение в дробилке осуществляется по методу свободного удара свободными концами стержневых элементов, что позволяет кардинально изменить механизмы единичных актов воздействия на частицы материала и интенсифицировать процесс их разрушения.

**Схема 7.** Роторно-центробежный измельчитель [6, 7]. Агрегат предназначен для измельчения волокнистых материалов посредством воздействия срезом и истиранием. В рабочей камере 1, содержащей патрубки 2 и 3 для загрузки и выгрузки материала, вращается вал 4 с рабочими органами: ротор с режущими 5 для помола и лопастями 6 для интенсификации захвата материала. Эффективность помола достигается воздействием на материал цилиндрической иглофрезерной насадкой 7. Выгрузка измельченного материала интенсифицируется за счет крыльчатки 8. Материал измельчается способом сдвига, среза и частичного истирания. Применение комплексного динамического воздействия на материал позволяет повысить производительность установки.

**Схема 8.** Центробежный иглофрезерный измельчитель [7, 8]. Представляет из себя плоский цилиндрический корпус - 1 с двумя подшипниковыми опорами - 2, в которых на вертикальном валу - 3 закреплен ротор - 4 - маховик с выполненными на нем подвижными пакетами иглофрез - 5 в виде развитых режущих элементов. Ротор вращается в пространстве колосниковой решетки - 6 смонтированной в корпусе установки. Подача материала осуществляется сверху через загрузочный лоток - 7, а выгрузка измельченного продукта происходит в воздушном потоке, с боковой части корпуса установки через разгрузочный патрубок - 8.

Конструктивно-технологическое использование измельчителей с иглофрезерными рабочими органами, характеризующимися развитой поверхностью воздействия на измельчаемые материалы, открывает дополнительные возможности в создании новых конструкций агрегатов для комплексной переработки техногенных материалов анизотропной структуры [1, 3, 9].

Для подтверждения возможности интенсификации процессов измельчения посредством стержневых элементов нами проводятся необходимые теоретические и экспериментальные исследования.

За основу их выполнения приняты варианты, когда стержни воздействуют на материал своими торцевыми поверхностями путем исти-

рания, среза и удара, что связано с необходимостью многократного увеличения контактных напряжений и интенсификации процесса измельчения.

Создание новых технологических агрегатов в которых можно использовать модули для измельчения на основе иглофрезерных рабочих органов, базируется на анализе концептуальных принципов развития и проектирования роторно-центробежных агрегатов комбинированного динамического воздействия на материал.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности издание второе, переработанное. М: Химия, 1977. 368 с.
2. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение, грохочение полезных ископаемых.- М.: Недра, 1980. – 416 с.
3. Бауман В.А. и др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Машиностроение, 1981. 328 с.
4. Сиваченко Л.А. Технологические аппараты адаптивного действия. Минск, Изд. центр БГУ, 2008. 375 с.
5. Севостьянов В.С., Михайличенко С.А., Сиваченко Т.Л., Попов Ф.С. Потенциал создания конструкций и использования иглофрезерных методов дезинтеграторной обработки материалов // Научно-технические инновации (XXI научные чтения) Междунар. науч.-практ. конф., сб. докладов, Белгород: Изд-во БГТУ, 2014, ч. 4, С. 104-109.
6. Севостьянов В.С., Михайличенко С.А., Сиваченко Т.Л., Попов Ф.С., Технологическая эффективность переработки материалов в роторно-центробежных агрегатах // Научно-технические инновации (XXI научные чтения) Междунар. науч.-практ. конф., сб. докладов, Белгород, Изд-во БГТУ, 2011, ч. 4. С. 110-116.
7. Севостьянов В.С., Михайличенко С.А., Сиваченко Т.Л., Шеховцова Ю.А. Модернизация помольного оборудования участка утилизации отходов при производстве полимерной продукции строительного назначения // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование, Межвузовский сборник статей. Белгород, 2012. Вып. XI. С. 318-321.
8. Патент РФ на изобретение № 2446015. 27.03.12 Установка для измельчения волокнистых материалов // Глаголев С.Н., Гридчин А.М., Севостьянов В.С., А.А. Макридин, С.А. Михайличенко.