

УДК 621.926

В. А. Потапов¹, Л. А. Сиваченко²

¹Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Министерство образования Республики Беларусь, ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи, Республика Беларусь, +375 (29) 225 76 26, vladimir-potapov-1990@mail.ru

²Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», Министерство образования Республики Беларусь, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, пр-т Мира, 43, 212000 Могилев, Республика Беларусь, +375 (44) 792 86 83, 228011@mail.ru

ЦЕПНОЙ АГРЕГАТ С ВОЛНОВОЙ РАБОЧЕЙ КАМЕРОЙ И АДАПТИВНЫМ МЕХАНИЗМОМ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВЛАЖНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проведен анализ существующего оборудования в области переработки влажных сырьевых материалов. Рассмотрены конструкции цепных агрегатов и предложена конструкция цепного агрегата с волновой рабочей камерой и адаптивным механизмом силового воздействия на перерабатываемый материал, что позволит решать поставленные задачи с минимальными издержками.

Ключевые слова: сырьевые материалы; цепной агрегат; волновая камера; измельчение; рыхление; переработка.

Рис. 5. Библиогр.: 19 назв.

V. A. Potapov¹, L. A. Sivachenko²

¹Baranovichi State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 21 Voykov St., 225404 Baranovichi, the Republic of Belarus, 375 (29) 225 76 26, vladimir-potapov-1990@mail.ru

²Belarusian-Russian University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, 43 Mira Ave., 212000 Mogilev, the Republic of Belarus, +375 (44) 792 86 83, 228011@mail.ru

A CHAIN UNIT WITH A WAVE WORKING CHAMBER AND ADAPTIVE MECHANISM OF FORCE INFLUENCE FOR REPROCESSING HUMID RAW MATERIALS

The analysis of equipment existing in the field of reprocessing humid raw materials is carried out, in particular, the design of chain units is considered and the design of a chain unit with a wave working chamber and adaptive mechanism of force influence on the processed material is suggested to enable the user to solve the goals set with minimal costs.

Keywords: raw materials; chain unit; wave chamber; shredding; loosening; processing.

Fig. 5. Ref.: 19 titles.

Введение. Проблемы первичной переработки влажных сырьевых и особенно карьерных материалов (мела, мергеля, глины, торфа), обладающих большой природной влажностью [1], имеют важное народно-хозяйственное значение, что обусловлено объемами переработки в масштабах Республики Беларусь (25...27 млн т в год [2]), высокой стоимостью и сложностью применяемого оборудования, большими эксплуатационными издержками. Используемое на соответствующих производствах оборудование в должной степени не решает эти проблемы, что в первую очередь связано с отсутствием научно аргументированных разработок в области проектирования технологических агрегатов для этих целей [3].

С учетом особенностей переработки рассматриваемых сырьевых материалов в рабочей камере агрегата должен быть такой механизм воздействия на перерабатываемый материал, при котором он получит нужные преобразования с минимальными издержками.

При переработке анизотропного материала возникает проблема, связанная с тем, что усилие для разрушения материала может иметь широкий диапазон значений. На материал должны воздействовать различного рода силовые воздействия (ударное, режущее, раскалывающие, истирающее) или совокупность этих воздействий. Таким образом, необходимо создать такой механизм воздействия на перерабатываемый материал, чтобы он учитывал особенности процесса и свойства материала, т. е. был адаптивным.

Из вышесказанного можно сделать вывод о необходимости создания агрегата с адаптивным механизмом силового воздействия на перерабатываемый материал.

Основная часть. Технологические свойства рассматриваемых сырьевых материалов достаточно сложно учитывать в процессах, связанных с рыхлением, измельчением, сортировкой и удалением посторонних включений. Главные факторы, определяющие условия первичной переработки: размерная неопределенность, анизотропность, изменчивость реологического состояния среды, высокая липкость и др.

Структура большинства современных технологических комплексов такова, что осуществляемые в них процессы различны по многообразию применяемого оборудования и условиям проведения [1].

При этом, несмотря на необходимость проведения целого ряда процессов, основополагающим является измельчение, которое может осуществляться преимущественно следующими способами: свободным ударом, режущим воздействием, сжатием со сдвигом, самоизмельчением, истиранием.

В настоящее время применяется большое количество различных по конструкции агрегатов: глинорыхлители, глиноизмельчители, дырчатые вальцы, бегуны, роторные и молотковые дробилки, стругачи и другие измельчители [4—6].

При анализе их работы, конструкций и опыта эксплуатации можно выделить следующие недостатки: при влажности 16...18 % затруднена переработка влажного сырьевого материала, в конечном итоге снижается производительность; при попадании твердых недробимых включений происходит подклинивание и ускоренный износ рабочих органов, высокая энергоемкость процесса и относительно большие эксплуатационные затраты [4; 7].

Предлагается новое техническое решение агрегата для работы с влажными сырьевыми материалами — цепные технологические агрегаты, а также предложены варианты выполнения агрегатов (рисунок 1), представленных в работах [3; 8].

Предшественником данной разработки является устройство для измельчения сыпучих материалов [9].

В основу разрабатываемой конструкции положен принцип совмещения в одном агрегате нескольких технологических операций (измельчение, рыхление, сортировка и удаление посторонних включений), реализации адаптивных методов силового воздействия на обрабатываемые материалы.

Конструкция выполнена из набора цепных элементов, соединенных между собой и образующих рабочую камеру, нижняя часть которой осуществляет возвратно-поступательные перемещения за счет кривошипно-шатунного механизма. Для интенсификации рабочего процесса цепные элементы могут оснащаться зубьями, а внутри рабочей камеры может быть размещен фрезерный рабочий орган [4; 8]. Основное назначение такой конструкции — использование в качестве агрегата для первичных стадий измельчения мела, мергеля, глины, трепела и других материалов в крупнотоннажных производствах. Основная эффективность цепного измельчителя обеспечивается способностью перерабатывать влажное сырье и заключается в снижении энергоемкости, улучшении условий эксплуатации и повышении качества обработанного материала.

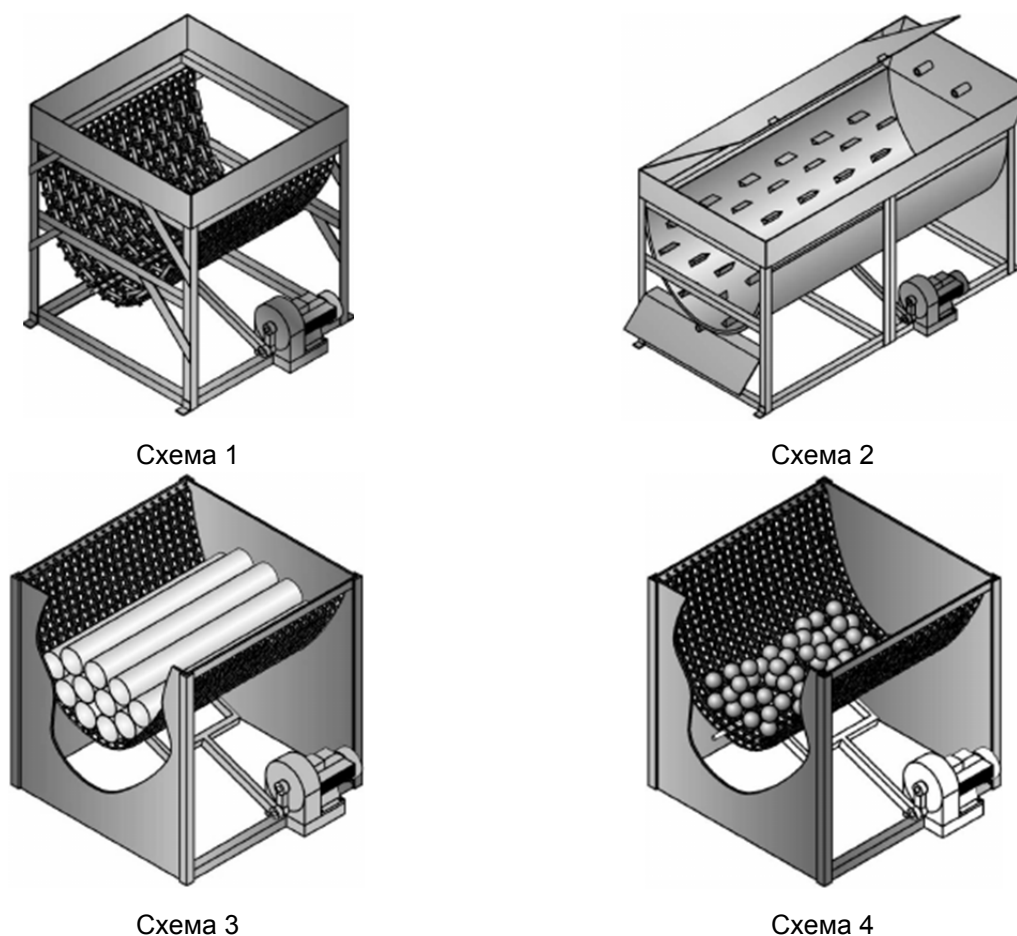


Рисунок 1. — Варианты выполнения цепных агрегатов [3]

Измельчитель влажных материалов (см. рисунок 1, схема 1). Для эффективной переработки широкого ряда таких влажных сырьевых материалов, как мел, мергель, глина, трепел, торф, глинозем и многие другие, предлагается принципиально новый агрегат для их измельчения в составе основного массоподготовительного оборудования. Материал карьерной влажности подвергается интенсивному разрушению путем ударов, среза, истирания, мелких сколов и просыпается или продавливается через цепную завесу в виде мелкоизмельченного продукта. Крупные недробимые включения отсеиваются на цепной завесе и удаляются. Агрегат может работать на материалах с влажностью до 30 % и с любой исходной крупностью, соизмеримой с размерами приемного отверстия, при этом наличие материала в рабочей камере только способствует улучшению условий его разрушения и принудительного продавливания через элементы цепного полотна [3; 7].

Гранулятор (см. рисунок 1, схема 2). Для гранулирования материалов представлен агрегат с рабочим органом в виде гибкого полотна. В процессе гранулирования сырье интенсивно смешивается со связующими компонентами за счет постепенного их продвижения по гибкому полотну, совершающему постоянные перемещения, в сторону выгрузочного устройства. Гранулятор наилучшим образом работает при равномерной подаче сырья и связующего компонента, например, через специальные патрубки, так как большая масса сырья в рабочей камере затруднит процесс гранулирования ввиду того, что весь объем сырья не смешается со связующим компонентом за время прохождения через рабочую камеру. В целях интенсификации процесса гранулирования на гибком полотне равномерно по всей поверхности закрепляют лопасти [3; 10].

Устройство для селективного измельчения (см. рисунок 1, схема 3) применяется для измельчения минерального сырья и может быть использовано для селективного дробления различных материалов малой и средней прочности, например известняка, калийной руды, цеолита, туфа, мрамора, перед осуществлением их последующего обогащения, сушки или приготовления суспензий и смесевых композиций. Рабочий процесс осуществляется следующим образом. Материал, попадая в зону действия рабочего оборудования, имеющего большое число зон активного воздействия и по меньшей мере один мелющий элемент, интенсивно измельчается за счет многочисленных ударов, истирания сколов и срезов; когда размеры частиц достигают определенного размера, позволяющего им проходить между звеньями цепей, просыпаются между ними в виде готового для последующего использования продукта [3; 11].

Механоактиватор для сырьевых смесей (см. рисунок 1, схема 4). Для механоактивации твердых материалов можно использовать агрегат с цепным оборудованием, в котором в качестве измельчающих элементов применяется множество металлических шаров. Это, по сути, есть шаровая мельница с приводом от кинематических деформируемых стенок помольной камеры с достаточно интенсивным процессом измельчения. При работе механоактиватора происходит не только избирательное измельчение, но и образование новой поверхности на подавляющем большинстве частиц исходной сырьевой массы. Его технологическая область применения — механоактивация компонентов бетонной смеси по отдельной технологии производства [3].

Проведенные испытания и структурный анализ конструкции цепных агрегатов показали [3], что они обладают целым рядом недостатков, к числу которых можно отнести: недостаточный уровень силового воздействия на обрабатываемые материалы из-за невозможности установки крупных зубьев, необходимых для разрушения крупного кускового материала; ограниченные размеры по ширине рабочей камеры; повышенные рабочие нагрузки на элементы конструкции, в частности, на кривошипно-шатунный механизм; наличие зон низкой интенсивности процесса в районе боковых стенок [12].

С учетом перечисленных недостатков в данной работе была обоснована и реализована конструкция цепного агрегата с волновой рабочей камерой. Предлагаемая конструкция разработана на основе анализа большого числа технических решений цепных измельчителей, в необходимой степени учитывает весь цикл выполненных ранее поисковых исследований и отражает потенциальные возможности по переработке различных материалов [3; 7—11; 13—17].

Графически показаны варианты схем цепного агрегата с волновой рабочей камерой (рисунок 2) и рабочий процесс цепного агрегата (рисунок 3).

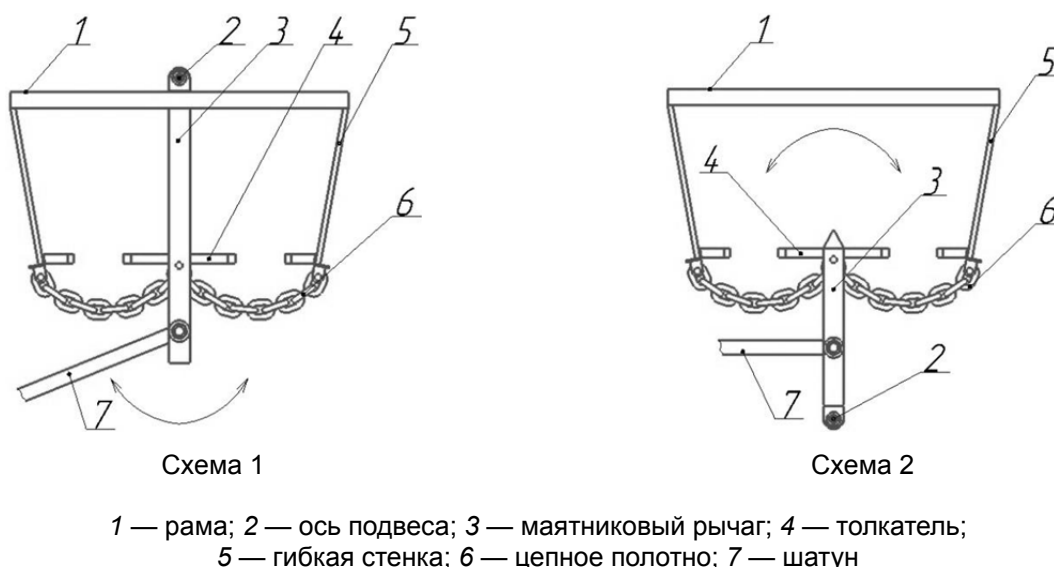


Рисунок 2. — Варианты схем цепного агрегата с волновой рабочей камерой

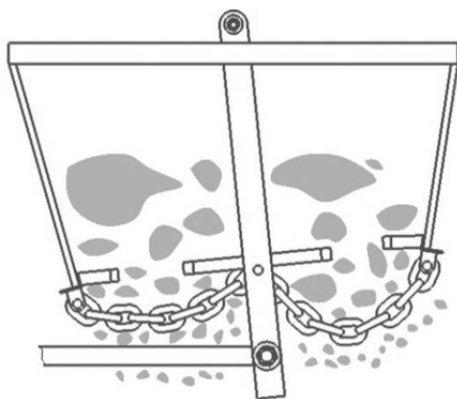


Рисунок 3. — Рабочий процесс цепного агрегата

Маятниковый рычаг 3, необходимый для создания волнового эффекта, можно закрепить с верхним и нижним подвесом (см. рисунок 2, схемы 1 и 2). При этом, независимо от типа подвеса маятниковых рычагов, рабочий процесс цепных агрегатов осуществляется путем качающего движения толкателя, который эти движения от кривошипно-шатунного механизма попеременно передает каждой из цепных волн, создающих сложные пространственные перемещения рабочих поверхностей и обеспечивающих определенный механизм воздействия на куски перерабатываемого материала.

На схеме 1 рисунка 2 представлен вариант цепного агрегата с верхним подвесом маятниковых рычагов, который обладает отличительным преимуществом, заключающимся в простоте конструкции и удобстве обслуживания и ремонта рабочего оборудования. К недостаткам данной конструкции можно отнести то, что некоторый объем камеры занимают маятниковые рычаги, которые неэффективно взаимодействуют с перерабатываемым материалом, а с кинематической точки зрения толкатель совершает колебательные движения по дуге окружности, направленной вверх, стремясь перенести материал от центра к стороне гибкой стенки, при этом просто отбивая его вверх.

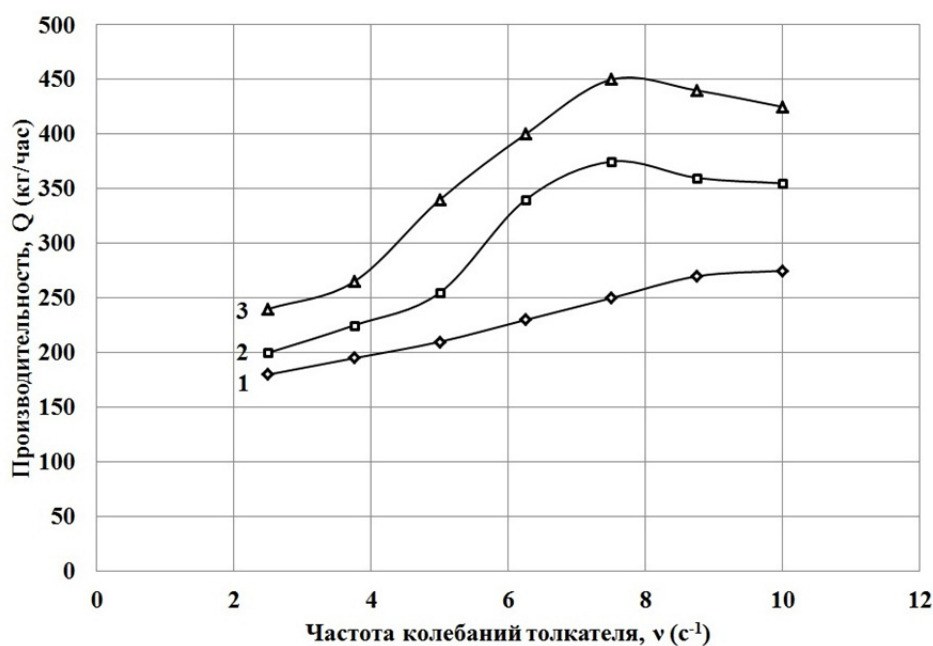
На схеме 2 рисунка 2 представлен цепной агрегат с нижним подвесом маятниковых рычагов. К преимуществам данного варианта подвеса маятникового рычага можно отнести то, что он смонтирован снизу и не занимает объем в рабочей камере, не участвует в процессе переработки, а толкатель движется по дуге окружности, направленной вниз, при этом стремится перенести материал в сторону цепных завес, что благоприятно влияет на процесс переработки. Недостатком данной конструкции является некоторая сложность обслуживания и ремонта, неблагоприятные условия работы подвижных частей привода из-за попадания в зоны трения перерабатываемого материала.

Выбор того или иного варианта подвеса маятниковых рычагов будет зависеть от условий работы цепного агрегата, физико-механических свойств перерабатываемого материала, характера его загрузки (транспортёр, экскаватор и бункер), эффективности рабочего процесса и других условий.

Рабочий процесс цепного агрегата с верхним подвесом маятникового рычага исследован на экспериментальной лабораторной установке [18], где выявлена его высокая технологическая эффективность при переработке влажного мела, карьерной глины и ряда других материалов. Установлены основные особенности рабочего процесса, заключающиеся в создании сложного объемного нагружения перерабатываемого материала, инерционного удаления целевой фракции через зазоры между звеньями цепи, образовании большого фронта рабочей поверхности, возможности работать под завалом и наличии хорошо разрыхляемой структуры, что позволяет в ряде технологий совмещать процесс измельчения и удаления влаги путем продувки рабочей камеры холодным и горячим газовым агентом.

Научный эксперимент, осуществленный в данной работе, был проведен на глине влажностью 18 %; варьируемые параметры — частота и амплитуда колебаний толкателя. Потребляемая мощность привода составляет 0,4 кВт.

Из графических зависимостей (рисунок 4) видно, что с ростом частоты и амплитуды колебаний толкателя производительность возрастает до определенного предела.



1 — амплитуда 50 мм; 2 — амплитуда 90 мм; 3 — амплитуда 120 мм

Рисунок 4. — Зависимость производительности от частоты колебаний толкателя

Наибольший прирост производительности находится в пределах частоты колебаний толкателя от $4,0$ до $7,5 \text{ с}^{-1}$, дальнейшее увеличение частоты не приводит к увеличению производительности процесса, что в определенной степени является следствием зависания материала в рабочей камере (см. рисунок 4).

На основании проведенного анализа можно констатировать, что конструкция цепного агрегата с волновой рабочей камерой имеет неоспоримую новизну и характеризуется большими функциональными возможностями.

Для проведения технологических испытаний цепного агрегата в производственных условиях разработан и изготовлен опытно-промышленный образец [19]. Его общий вид приведен на рисунке 5, а конструкция выполнена с верхним подвесом маятникового рычага. В ней предусмотрено изменение частоты и амплитуды колебаний, а характер выполнения рабочего оборудования позволяет использовать его для измельчения, сортировки, камнеудаления и других процессов.

Закключение. На основе анализа конструкций существующих машин для переработки влажных сырьевых материалов предложена конструкция цепного агрегата с волновой рабочей камерой и адаптивным механизмом силового воздействия, которая по предварительным результатам проведенных технологических испытаний отвечает требованиям по первичной переработке материалов и имеет преимущества перед существующими агрегатами за счёт выполнения одновременно нескольких видов операций и возможностью работать с сырьевыми материалами повышенной влажности.



Рисунок 5. — Опытно-промышленный образец

Итоговая оценка цепных агрегатов позволяет считать, что может быть разработан принципиально новый вид технологического оборудования с дополнительными функциональными возможностями для крупнотоннажных производств первичных стадий сырьевых переделов.

В дальнейшем развитие цепных агрегатов авторами данной статьи планируется проводить по двум основным направлениям: 1) поэтапно формировать теорию рабочего процесса, которая является крайне сложной и требует особых подходов и методов; 2) активизировать экспериментальные работы для получения объективных знаний об особенностях использования нового эффективного многоцелевого оборудования в производственных условиях.

Список цитируемых источников

1. *Сиваченко, Л. А.* Технологическое машиностроение — инновационный резерв мировой экономики : монография / Л. А. Сиваченко, Т. Л. Сиваченко. — Могилев : Беларус.- Рос. ун-т, 2017. — 254 с.
2. Энерготехнологические проблемы дезинтеграторных технологий в промышленности строительных материалов и пути их решения / Л. А. Сиваченко [и др.] // Энергоэффективность. — 2014. — № 12. — С. 22—25.
3. *Сиваченко, Л. А.* Цепные технологические агрегаты многоцелевого назначения и их развитие / Л. А. Сиваченко, А. М. Ровский, И. А. Реутский // Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. — 2016. — № 1 (50). — С. 78—86.
4. *Сиваченко, Л. А.* Цепные агрегаты многоцелевого назначения для переработки влажных сырьевых материалов / Л. А. Сиваченко, И. А. Реутский, А. М. Ровский // Современные технологии и методы проектирования в строительстве : сб. науч. тр. — Луцк : ЛНТУ, 2016. — Вып. 5. — С. 213—221.
5. *Бауман, В. А.* Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В. А. Бауман, Б. В. Клушанцев, В. Д. Мартынов. — М. : Машиностроение, 1981. — 324 с.
6. *Сапожников, М. Я.* Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / М. Я. Сапожников. — М. : Высш. шк., 1971. — 382 с.
7. Устройство для измельчения влажных материалов : полезная модель РК № 1598 / Л. А. Сиваченко, А. М. Ровский, И. А. Реутский, У. К. Кусебаев. — Заявитель и патентообладатель : Респ. гос. предприятие на праве хоз. ведения «Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева» М-ва образования и науки Респ. Казахстан ; дата публ. : 15.08.2016. — Бюл. № 9.
8. *Ровский, А. М.* Измельчитель сырьевых материалов с цепным рабочим органом / А. М. Ровский // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Могилев, 26—27 окт. 2017 г. — Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2017. — С. 140.
9. Устройство для измельчения сыпучих материалов : а. с. SU 1409326 : МПК В02С 19/16 / Л. А. Сиваченко, В. В. Моисенко, И. И. Аладьев. — Заявитель и патентообладатель : Могилев. машиностроит. ин-т ; заявл. 27.01.1986 ; дата публ. : 15.07.1988. — Бюл. № 9.
10. Гранулятор : полезная модель РК № 1657 / Л. А. Сиваченко, И. А. Реутский, А. М. Ровский, У. К. Кусебаев, Т. Л. Сиваченко. — Заявитель и патентообладатель : Респ. гос. предприятие на праве хоз. ведения «Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева» М-ва образования и науки Респ. Казахстан ; дата публ. : 15.09.2016. — Бюл. № 11.
11. Установка для селективного измельчения : полезная модель РК № 1658 / Л. А. Сиваченко, У. К. Кусебаев, И. А. Реутский, А. М. Ровский. — Заявитель и патентообладатель : Респ. гос. предприятие на праве хоз. ведения «Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева» М-ва образования и науки Респ. Казахстан ; дата публ. : 15.09.2016. — Бюл. № 11.
12. *Сиваченко, Л. А.* К разработке базовой конструкции цепного технологического агрегата / Л. А. Сиваченко, А. Н. Хустенко, В. А. Потапов // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов : межвуз. сб. ст. — Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2018. — С. 328—333.
13. *Сиваченко, Л. А.* Многофункциональный технологический агрегат с цепным рабочим оборудованием / Л. А. Сиваченко, В. А. Потапов, Т. Л. Сиваченко // Энерго- и ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Белгород, 20—21 сент. 2018 г. — Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2018. — С. 210—215.
14. Проблемы переработки влажных сырьевых материалов и пути их решения / Л. А. Сиваченко [и др.] // Инженер-механик. — 2015. — № 1. — С. 16—20.
15. Агрегат для измельчения влажных материалов : полезная модель РК № 1597 : МПК В02С 19/16 / Л. А. Сиваченко, А. М. Ровский, И. А. Реутский, У. К. Кусебаев. — Заявитель и патентообладатель : Респ. гос.

предприятие на праве хоз. ведения «Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева» М-ва образования и науки Респ. Казахстан ; дата публ. : 15.08.2016. — Бюл. № 9.

16. Устройство для измельчения сырьевых известковых пород : пат. ВУ 22037 / Л. А. Сиваченко, А. М. Ровский, И. А. Реутский ; дата публ. : 30.10.2017.

17. Измельчитель влажных материалов : пат. на изобретение РК № 32183 / Л. А. Сиваченко, С. Ж. Багитова, И. А. Реутский, А. М. Ровский. — Заявитель и патентообладатель : Респ. гос. предприятие на праве хоз. ведения «Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева» М-ва образования и науки Респ. Казахстан ; дата публ. : 30.06.2017.

18. Научно-практические основы создания иглофрезерных измельчителей многоцелевого назначения / В. С. Севостьянов [и др.] // Вестн. БГТУ им. В. Г. Шухова. — 2018. — № 3. — С. 107—116.

19. *Потапов, В. А.* Рабочее оборудование цепного агрегата для переработки сложных и неоднородных материалов / В. А. Потапов, Л. А. Сиваченко, М. С. Кузьменкова // Энерго- и ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительных отраслях : материалы Междунар. науч.-практ. конф. — Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2019. — С. 174—181.

Поступила в редакцию 15.04.2020