

Технологическая концепция и технические средства для комплексной переработки техногенных полимерсодержащих материалов

Technological concept and technical means for complex processing of technogenic polymer-containing materials

В.С. СЕВОСТЬЯНОВ¹, Н.Т. ШЕИН², В.В. ОБОЛОНСКИЙ³, П.Ю. ГОРЯГИН¹, А.П. ГАЕВОЙ⁴

V.S. SEVOSTYANOV¹, N.T. SHEIN², V.V. OBOLONSKY³, P.YU. GORYAGIN¹, A.P. GAEVOY⁴

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

² ООО «Транспортная компания «Экотранс», Белгород, Россия

³ ООО «Экоцентр «Черноземье», Белгород, Россия

⁴ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»», Старый Оскол, Россия

¹ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

² Ecocentre Chernozemye LLC, Belgorod, Russia

³ Ecocentre Chernozemye LLC, Belgorod, Russia

⁴ A.A. Ugarov Stary Oskol Technological Institute (branch) of the National University of Science and Technology MISIS, Stary Oskol, Russia

inventor.konf@yandex.ru

В статье представлена разработанная и реализованная на производственной площадке ООО «ТК «Экотранс» технологическая концепция комплексной переработки техногенных материалов, обеспечивающая взаимосвязь и рециклинг материальных и энергетических ресурсов. Для реализации данной концепции разработаны патентозащищенные конструкции технологических модулей для переработки техногенных полимерных материалов с различными физико-механическими характеристиками и производства полимерсодержащих смесей различного технологического назначения.

Ключевые слова: ресурсосберегающая технология, комплексная переработка, техногенные полимерные материалы, поэтапное измельчение, комбинированное воздействие

The article presents the technological concept of integrated processing of man-made materials, developed and implemented at the production site of TC Ecotrans LLC, which ensures the interconnection and recycling of material and energy resources. To implement this concept, patent-protected designs of technological modules have been developed for processing man-made polymer materials with various physical and mechanical characteristics and for the production of composite mixtures for various technological purposes.

Keywords: resource-saving technology, complex processing, technogenic polymer materials, staged grinding, combined effect

DOI: 10.35164/0554-2901-2026-03-49-52

Введение

В настоящее время в России накоплено свыше 60 млрд тонн твердых коммунальных отходов (ТКО), и ежегодно в стране образуется более 8,5 млрд тонн промышленных и коммунальных отходов [1].

В Белгородской области ежегодно образуется около 4 млн м³ отходов (рис. 1, 2), около 15% которых подвергаются переработке и утилизации [2].

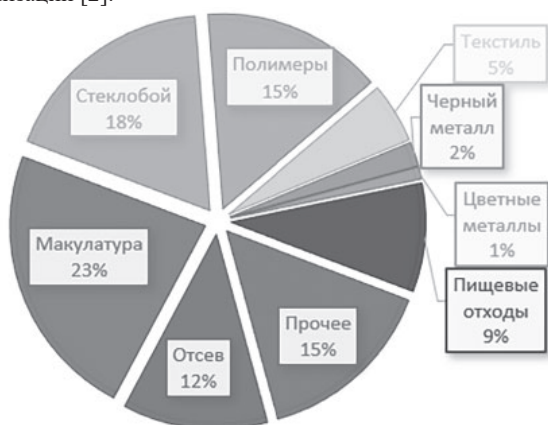


Рис. 1. Морфологический состав твердых коммунальных отходов в Белгородской области.

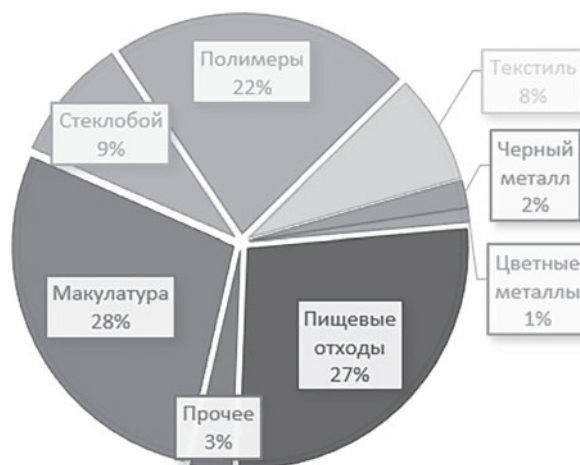


Рис. 2. Процентное содержание отходов по группам после сортировки («хвосты»).

Представленные ниже концептуальные положения разработки и создания ресурсо-энергосберегающих технологий комплексной переработки техногенных материалов и получения из них продукции различного назначения (рис. 3) базируются на исследованиях коллектива научно-исследовательской лаборатории ресурсо-энергосберегающих технологий, оборудования и комплексов (НИЛ РЭТОК)

Управления научно-исследовательских работ БГТУ им. В.Г. Шухова и научно-производственном опыте ООО «ТК «Экотранс», ООО «Экоцентр «Черноземье» и других структур [3–11].

Разработанная концепция предусматривает четыре основных технологических блока (рис. 3):

I – постадийная переработка техногенных полимерных материалов (ТПМ) с получением различных видов вторичного сырья и последующим производством продукции;

II – комплексная переработка базальтовых волокнистых отходов с получением классифицированных фиброполнителей, механоактивированных добавок и фиброгранулята;

III – низкотемпературная термолизная технология ($T \leq 500^\circ\text{C}$) переработки органических ТКО;

IV – гомогенизация гетерогенных компонентов для получения полимерсодержащих смесей различного технологического назначения.

Перед реализацией основных технологических процессов предусмотрена предварительная подготовка исходных органических и минеральных техногенных материалов для их дальнейшей переработки, включающая классификацию, сушку, измельчение, компактирование и другие технологические операции.

Одним из основополагающих агрегатов указанной технологии переработки ТПМ является роторно-центробежный агрегат комбинированного действия (РЦА КД) [12].

В рамках разрабатываемой НИЛ РЭТОК ресурсосберегающей технологии постадийной переработки ТПМ с получением различных видов исходного вторичного сырья и дальнейшего получения товарной продукции предусмотрены следующие варианты технического исполнения РЦА КД:

Стадия I – получение в первой камере РЦА КД крупнозернистых или пластинчатых ТПМ $d_1 = (3 \div 10) \cdot 10^{-3}$ м, $l = (15 \div 20) \cdot 10^{-3}$ м. Данный вид сырья является основным компонентом смеси, получаемой в двухкамерном смесителе [13]. Произведённый при дальнейшем формовании полимерсодержащих смесей в шнековом экструдере гранулят используется для получения товарной про-

дукции: добавок в асфальтобетон, труб технического назначения, плёночных упаковочных материалов, профилей различной конфигурации, плитки и др.

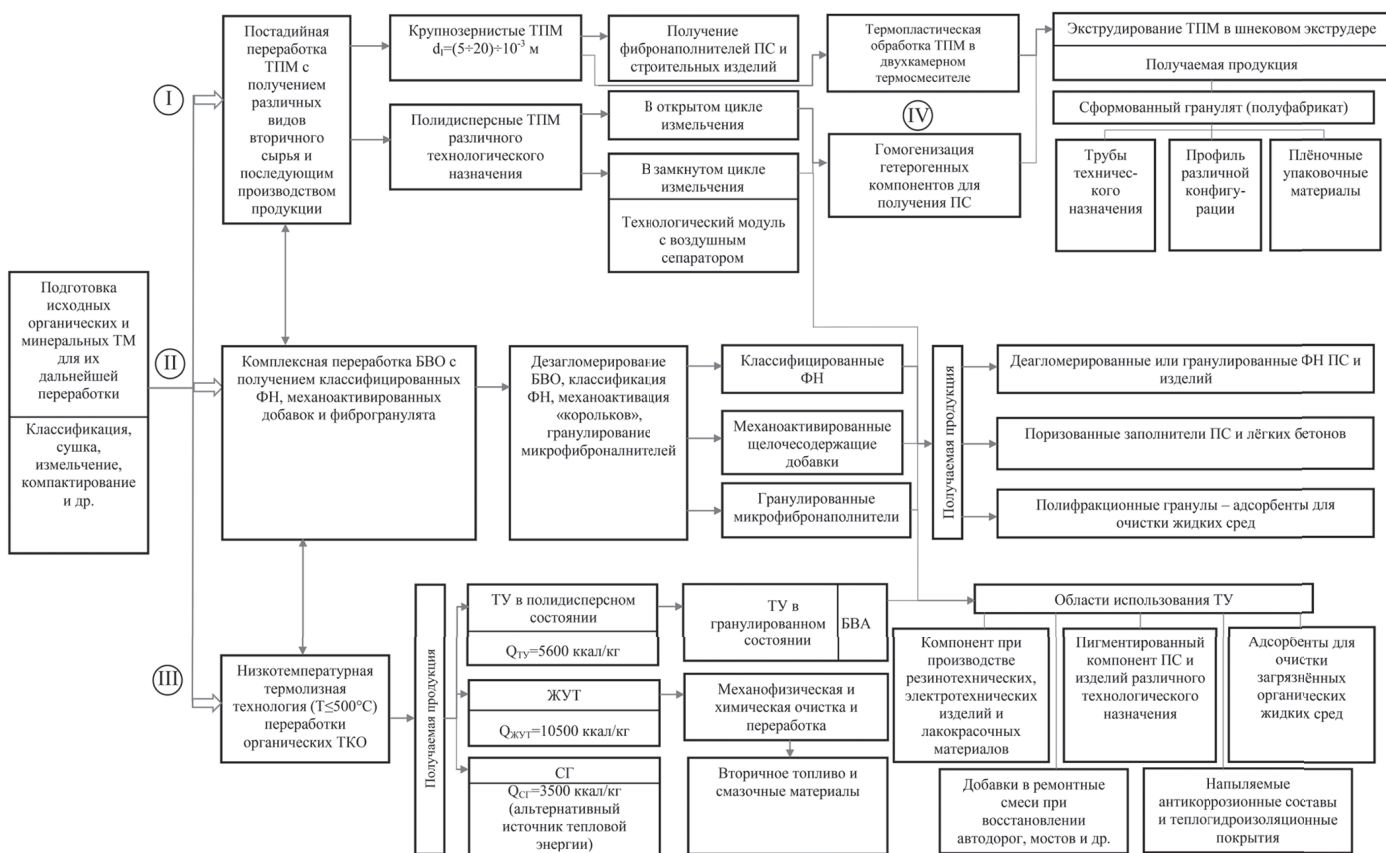
Стадия II – получение полифракционных тонкоизмельчённых $d_{II} = (0,9 \div 3) \cdot 10^{-3}$ м ТПМ во второй камере РЦА КД, последующая их гомогенизация с гетерогенными техногенными компонентами (фиброполнителями из базальтовых волокнистых отходов, техническим углеродом, пластификатором и др.) в рециркуляционном смесителе [14] и экструдирование для получения гранулята.

Тонкоизмельчённые ТПМ, полученные в технологическом модуле с РЦА КД [12], работающем по замкнутому циклу измельчения с классификатором или сепаратором, используются в качестве наполнителя сухих строительных смесей для получения строительных изделий.

На основании проведённых теоретических и экспериментальных исследований нами разработан технологический модуль для постадийного измельчения материалов [12].

Технологический модуль постадийного измельчения органических и минеральных материалов состоит из сопряжённых последовательно пресс-валкового уплотнителя (1), роторно-центробежного агрегата (2) комбинированного действия, питателя-гомогенизатора (3) добавок и воздушного сепаратора (4) рециркуляционного действия (рис. 4).

Исходные полимерные отходы – полиэтиленгерафталат, полиэтилен высокой плотности, полипропилен, полистирол и др. – подаются в приёмный бункер (10) пресс-валкового уплотнителя (1) на вращающиеся навстречу друг другу шипованные валки (9), которые их захватывают и предуплотняют. Затем материал через загрузочное отверстие поступает в первую камеру измельчения (5) роторно-центробежного агрегата (2). В камере (5) техногенное сырьё измельчается фрезерным ротором (8) до частиц размером $d_1 = (3 \div 10) \cdot 10^{-3}$ м. Под действием разряжения, создаваемого во второй камере измельчения (6), материал попадает внутрь перфорированного барабана (15). Внутри второй камеры материал



ТМ – техногенные материалы

ТПМ – техногенные полимерные материалы

РЦА КД – роторно-центробежный агрегат комбинированного действия

ПС – полимерсодержащие смеси

РС КД – Рециркуляционный смеситель комбинированного действия

БВО – базальтовые волокнистые отходы

ФН – фиброполнители

ВЦА КД – вибро-центробежный агрегат комбинированного действия

ТКО – твёрдые коммунальные отходы

БВА – барабанно-винтовой агрегат

ТУ – технический углерод

ЖУТ – жидкое углеводородное топливо

СГ – синтетический газ

Рис. 3. Схема реализации ресурсосберегающих технологий и оборудования для энергоэффективной переработки техногенных полимерных материалов и получения инновационной продукции.

измельчается центральной цилиндрической иглофрезой (14) и малыми цилиндрическими иглофрезами (16) до размера частиц $d_{\Pi} = (0,9 \div 3) \cdot 10^{-3}$ м. Одновременно питателем-гомогенизатором (3) вводятся минеральные материалы в виде тонкодисперсных добавок (например, микрофибронеполнители или пигменты). Добавки вместе с измельчаемым материалом попадают во вторую камеру измельчения (6).

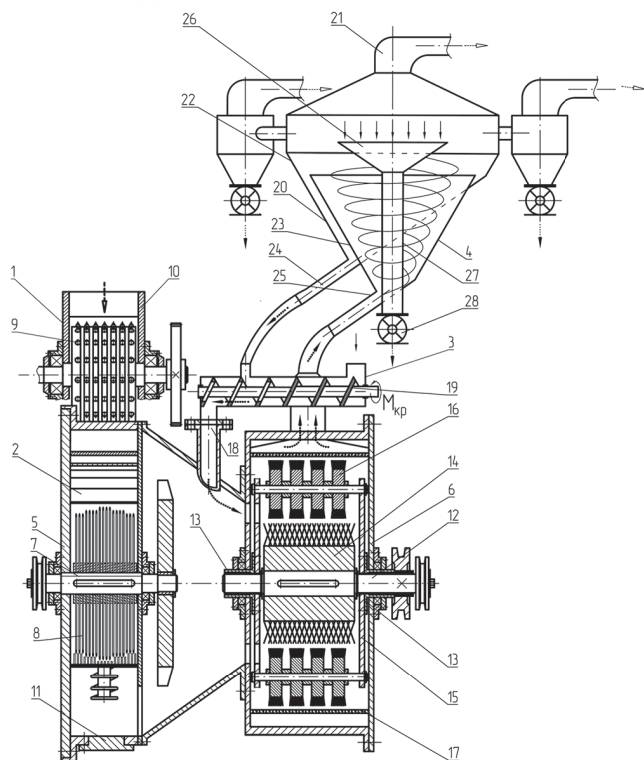


Рис. 4. Технологический модуль поэтапного измельчения органических и минеральных материалов: 1 – пресс-валковый уплотнитель; 2 – роторно-центробежный агрегат комбинированного действия; 3 – питатель-гомогенизатор добавок; 4 – воздушный сепаратор рециркуляционного действия; 5, 6 – камеры измельчения; 7 – вал; 8 – фрезерный ротор; 9 – шипованные валки; 10 – приёмный бункер; 11 – крышка; 12 – вал; 13 – полые валы; 14 – иглофрезы; 15 – барабан; 16 – малые цилиндрические иглофрезы; 17 – сетка; 18 – патрубок; 19 – шнек; 20 – корпус; 21 – аспирационный патрубок; 22, 23, 26 – конус; 24 – возвратный патрубок; 25 – нагнетательный патрубок; 27 – выгрузочный патрубок; 28 – дозатор готовой продукции.

Измельченный материал по нагнетательному патрубку (25) поступает в сепаратор (4). Наиболее крупные частицы ($d_{\text{рец}} = (2 \div 4) \cdot 10^{-3}$ м) смеси возвращаются на доизмельчение через возвратный патрубок (24). Тонкодисперсные частицы исходного материала ($d_k < 2 \cdot 10^{-3}$ м) поступают в выносные элементы циклонного типа. Пылевидная фракция ($d_{\Pi} \leq 10^{-4}$ м) измельченного материала выводится в аспирационный патрубок (21).

Использование предложенной конструкции технологического модуля для поэтапного измельчения позволяет перерабатывать материалы с различными физико-механическими характеристиками и физико-химическими свойствами.

С целью расширения функциональных возможностей технологического оборудования (получения порошкообразных ТПМ, приготовления полимерсодержащих смесей, а также автономности работы отдельных блоков технологических модулей) необходима разработка специального оборудования для комплексной переработки техногенных материалов.

На основании проведённых теоретических и экспериментальных исследований нами разработан технологический модуль для диспергирования и смешения изотропных и анизотропных материалов (рис. 5) [15].

Технологический модуль содержит расположенные горизонтально и последовательно блок диспергирования «А» основного изотропного или анизотропного материала, соединённый посредством цилиндрической камеры блока предварительного смешения «В» всех компонентов композиционной смеси с блоком окончательного смешения «С» материалов.

Технологический модуль для диспергирования и смешения изотропных и анизотропных материалов работает следующим образом. Исходный основной материал композиционной смеси (полимерные отходы) загружается в приемную воронку (1), закрепленную на цилиндрическом корпусе (2). Затем материал захватывается геликоидальной лопастью (4) и направляется в рабочую зону роторного измельчителя. Материал измельчается (до размера частиц ($d_{\text{дисп}} = (0,5 \div 2) \cdot 10^{-3}$ м) за счёт сдвигового воздействия в пазах вращающегося ротора и в продольных каналах цилиндрической оболочки. Далее измельченный материал поступает в камеру предварительного смешения «В» смеси, где гомотенизируется с добавками, подаваемыми из шнекового питателя. Предварительная гомотенизация композиционной смеси реализуется в цилиндрическом корпусе с ассиметрично закрепленными на горизонтальном валу (3) двумя двухзаходными геликоидными лопастями (14, 15).

Для повышения качества полимерсодержащей смеси используется высокоскоростное окончательное смешение компонентов по замкнутому контуру в торообразной камере блока «С». Воздушно-материальный поток по заданному направлению поступает в отсек (I), осуществляя вращательное движение в направлении вращения активаторного колеса (16), расположенного в отсеке II. За счёт разряжения, создаваемого лопастями (17) активаторного колеса, смесь поступает в торообразный корпус. Выгрузка готовой композиционной смеси осуществляется через выгрузочное отверстие (18).

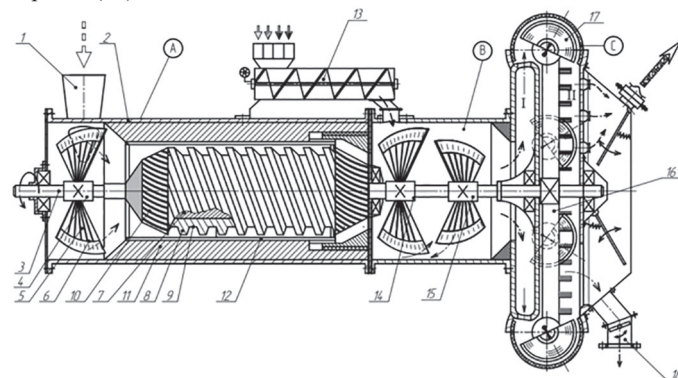


Рис. 5. Технологический модуль для диспергирования и смешения изотропных и анизотропных материалов: 1 – приемная воронка; 2 – цилиндрический корпус; 3 – горизонтальный вал; 4 – нагнетающая двухзаходная геликоидальная лопасть; 5 – винтообразные стержни; 6 – дугообразные пластины; 7 – цилиндрический ротор; 8 – оболочка ротора; 9 – пазы; 10 – захватывающие дугообразные пластины; 11 – съемная цилиндрическая оболочка статора; 12 – каналы; 13 – шнековый питатель добавок; 14, 15 – двухзаходные геликоидальные лопасти; 16 – активаторное колесо; 17 – лопасти; 18 – выгрузочное отверстие.

Технологический модуль обладает следующими конструктивно-технологическими преимуществами:

- обеспечивает энергоэффективность процесса диспергирования природных и техногенных материалов при использовании широкого диапазона силовых нагрузок (раскалывающих, разрывающих, изгибающих, истирающих и других, а также различных их сочетаний);
- повышает качество композиционных смесей за счет интенсификации поэтапных процессов диспергирования материалов в роторном измельчителе, гомотенизации их гетерогенных компонентов при предварительном смешении и пневмомеханическом внутреннем рециклинге полимерсодержащих смесей в едином технологическом модуле;
- обеспечивает возможность использования технологического модуля при реализации ресурсосберегающих технологий как в его комбинированном состоянии, так и по отдельным блокам («А»; «В»→«С»; «А»→«В»→«С»). Это расширяет возможности его использования как в малотоннажных, так и в крупнотоннажных инновационных производствах конкурентоспособной продукции из техногенных полимерсодержащих сырьевых материалов.

Проведённые нами научно-технические разработки по созданию технологической концепции комплексной переработки техногенного

сырья и технологических модулей для её реализации позволяют комбинировать технологические процессы измельчения и смешения сырья, обеспечить рециклинг энергетических ресурсов в рамках нескольких технологических комплексов на базе ООО «ТК «Экотранс», расширить номенклатуру получения вторичного сырья и произведённых изделий с его использованием.

Выводы

В результате проведённых научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок получены следующие результаты:

Разработана технологическая концепция комплексной переработки техногенных материалов в условиях производства ООО «ТК «Экотранс». Реализация данной концепции обеспечивает взаимосвязь и рециклинг материальных и энергетических ресурсов, что повышает энергоэффективность переработки отходов и получения энергии для внутренних нужд предприятия.

Разработан патентозащищённый технологический модуль постадийного измельчения органических и минеральных материалов, реализующий замкнутый цикл измельчения, что обеспечивает новые технологические возможности для получения различных видов продукции из ТПМ: уплотнённых и перфорированных материалов с низкой объёмной плотностью ($\rho_{\text{ТПМ}} \leq 400 \text{ кг/м}^3$); полимерного флекса ($d_f \leq 10^{-2} \text{ м}$); мелкозернистого наполнителя ($d_{\text{II}} \leq 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$) композиционных смесей различного назначения.

Создана и защищена патентом конструкция технологического модуля для диспергирования и смешения изотропных и анизотропных материалов. Использование данного модуля позволяет производить порошкообразные полимерные материалы, композиционные смеси на их основе, а также обеспечивать как постадийность процессов диспергирования и смешения, так и автономность работы отдельных блоков технологического модуля.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках национального проекта «Наука и университет» по созданию новой лаборатории «Разработка, исследования и опытно-промышленная апробация наукоемких технологий и технических средств для производства полимерсодержащих композиционных смесей и изделий из техногенных органоминеральных компонентов» (проект FZWN-2024-0002) с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Литература

1. Росприроднадзор: офиц. сайт. URL: <https://rpn.gov.ru> (дата обращения: 12.06.2026).
2. Белгородский опыт: принципы эффективности обращения с отходами // РБК Черноземье. URL: <https://chr.plus.rbc.ru/news/62833f6d7a8aa9a69ec02853> (дата обращения: 12.06.2026).
3. Севостьянов В.С., Шеин Н.Т., Оболонский В.В., Горягин П.Ю., Гаевой А.П. Научно-техническая разработка ресурсоэнергосберегающей технологии с роторно-центробежным агрегатом комбинированного действия // Пластические массы. 2025. №6. С. 52–56. DOI: 10.35164/0554-2901-2025-06-52-56.
4. Глаголев С.Н., Шеин Н.Т., Севостьянов В.С. [и др.]. Технологии комплексной переработки твердых коммунальных отходов // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24, №12. С. 11–15. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-12-11-15.
5. Севостьянов М.В., Агеева М.С., Севостьянов В.С. [и др.]. Высокотехнологичное оборудование и технологии для производства композиционных смесей с техногенными компонентами // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2024. №7. С. 98–110. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-7-98-110.
6. Проценко А.М. Интенсификация процессов гомогенизации смесей в рециркуляционном смесителе // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2024. Т. 30, №2. С. 346–357. DOI: 10.17277/vestnik.2024.02.pp.346-357.
7. Sevostyanov M.V., Shein N.T., Sevostyanov V.S., Obolonskiy V.V., Protsenko A.M., Goryagin P.Yu., Babukov V.A. Development and study of equipment for comprehensive processing of technogenic polymer-containing materials // Russian Engineering Research. 2025. Vol. 45, N10. P. 1440–1444. DOI: 10.3103/S1068798X25702259.
8. Sevostyanov M.V., Osokin A.V., Protsenko A.M. Efficiency of granulation of production fibrous wastes due to their precompression // BIO Web of Conferences. 2024. P. 00033. DOI: 10.1051/bio-conf/202410300033.
9. Shkarpetkin E.A., Protsenko A.M. Studies of the Influence of the Planetary Mixer Design and Technological Parameters on the Quality of Mixtures // Industrial and Civil Construction 2022: ISCICC: International Scientific Conference Industrial and Civil Construction, Belgorod, 18–19.01.2022. Vol. 436. Belgorod: Springer Nature Switzerland AG, 2024. P. 220–226. DOI 10.1007/978-3-031-44432-6_28.
10. Севостьянов В.С. Уральский В.И., Сиваченко Л.А., Проценко А.М. Машины и агрегаты адаптивного действия для селективной переработки природных и техногенных материалов. Белгород: Белгородский государственный технологический университет, 2024. 351 с. ISBN 978-5-361-01376-0.
11. Уральский В.И., Севостьянов В.С., Сеница Е.В., Уральский А.В. Центробежные помольные агрегаты для тонкого измельчения материалов / Белгород: Изд-во БГТУ. 2024. 368 с. ISBN 978-5-361-01348-7.
12. Пат. 2834371 РФ. МПК В02С 18/00. Технологический модуль постадийного измельчения органических и минеральных материалов / Севостьянов В.С., Шеин Н.Т., Севостьянов М.В., Ключев С.В., Горягин П.Ю., Оболонский В.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; № 2024120112; заявл. 17.07.2024; опубл. 06.02.2025, Бюл. № 4. – 14 с.
13. Севостьянов В.С., Шеин Н.Т., Оболонский В.В. [и др.]. Ресурсосберегающая технология комплексной переработки техногенных полимерных материалов и технические средства для её реализации // СТИН: ежемесячный научно-технический журнал. 2024. №9. С. 27–30. EDN PHWEFX.
14. Евразийский патент 046589 В1. МПК В01F33/81 (2022.01), В01F27/1143 (2022.01). Рециркуляционный смеситель комбинированного действия: № 202300027, заявл. 05.04. 2023, опубл. 27.03.2024 / Глаголев С.Н., Севостьянов В.С., Проценко А.М., Севостьянов М.В., Ключев С.В., Шамгулов Р.Ю.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. – 19 с.
15. Пат. 2853333 РФ. МПК В02С 18/00. Технологический модуль для диспергирования и смешения изотропных и анизотропных материалов / В.С. Севостьянов, А.П. Гаевой, М.В. Севостьянов, А.В. Шаталов, В.А. Шаталов, А.М. Проценко, П.Ю. Горягин; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; № 2025115913; заявл. 09.06.2025; опубл. 23.12.2025, Бюл. № 36. – 20 с.