

ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛЕЙ, КОМПЛЕКСОВ, ТЕРРИТОРИЙ

УДК 332.142:621.311.22:662.64

DOI: 10.26456/2219-1453/2026.1.086-096

Ресурс-ориентированная модель развития периферийной территории на основе создания природно-промышленного комплекса

С.Н. Гамаюнов, А.М. Гусева, А.И. Жигульская, Б.Ф. Зюзин

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»,
г. Тверь

Целью исследования является обоснование ресурс-ориентированной модели развития периферийной территории на основе природно-промышленного комплекса (ППК) в моногороде Кувшиново. Научная новизна заключается в разработке интегрированной архитектуры ППК с автономной мини-ТЭС на 10 МВт, использующей местные биогенные природные ресурсы. Предложена технология безотходной переработки торфяной залежи с замыканием материальных и энергетических потоков, что обеспечивает снижение энергозатрат предприятий на 30–50 %, создание более 400 рабочих мест и формирование циркулярной экономики на уровне депрессивного муниципального образования.

Ключевые слова: периферийные территории, моногород, природно-промышленный комплекс, циркулярная экономика, торфяная отрасль, энергетическая автономия.

Современные экономические и экологические вызовы вынуждают пересматривать традиционные модели производства, учитывающие необходимость снижения зависимости от внешних источников энергии и минимизации негативного воздействия на окружающую среду [4]. В этой связи возрастает значимость формирования стабильных и автономных экономических систем. Природно-промышленные комплексы (ППК), интегрированные с автономными энергетическими центрами, представляют собой одну из таких систем, способных обеспечить баланс между потребностями промышленности и экологическими требованиями [6]. ППК – это не просто совокупность предприятий на одной территории, а интегрированная система, в которой природные, производственные, энергетические и социальные компоненты функционируют как единый организм, обмениваясь веществами, энергией и информацией [7]. Первостепенной задачей формирования подобного комплекса является достижение экономической эффективности и экологической стабильности посредством разумного применения местных природных ресурсов, внедрения инновационных технологий и обеспечения автономного энергоснабжения [8].

Концепция ресурс-ориентированного развития восходит к классическим трудам Э. Лерша, А. Хиршмана и А. Вебера, которые

показали, что территориальные экономики с высокой концентрацией природных активов обладают потенциалом к внутренней диверсификации, если ресурсный сектор интегрирован в производственные цепочки локальной экономики. В российской научной традиции подчеркивается, что моногорода с «латентным ресурсным потенциалом» способны преодолеть структурную уязвимость через создание вертикально интегрированных промышленных кластеров. Ключевым условием становится не просто добыча, а глубокая переработка и замыкание потоков – принцип, лежащий в основе циркулярной экономики [5]. В отличие от экспорт-ориентированной модели, при которой ресурс покидает территорию в виде сырья, ресурс-ориентированная модель удерживает добавленную стоимость внутри региона, генерируя мультипликативный эффект по занятости, инвестициям и налоговым поступлениям.

Город Кувшиново Тверской области входит в официальный перечень моногородов Российской Федерации, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 29.07.2022 № 1912-р, и отнесен к категории III («вызывает умеренную обеспокоенность»). По данным Росстата (2024), численность населения Кувшиновского городского поселения сократилась с 13 200 до 10 800 человек за период 2010–2023 гг., уровень зарегистрированной безработицы достиг 6,7 % – в 2,3 раза выше областного показателя, а доля малых предприятий составляет 38 на 10 тыс. жителей против 64 в среднем по России. Бюджет Кувшиновского муниципального округа остается дотационным: собственные доходы покрывают менее 42 % расходов. В этих условиях поиск якорей роста внутри территории перестаёт быть опцией – он становится императивом. Историческая зависимость от внешних решений здесь не работает, что заставляет искать развитие внутри самой территории, в её латентных ресурсах [3]. Одним из таких якорей может выступить природно-промышленный комплекс «Кувшиновский индустриальный парк» (КИП), основанный на рациональном использовании местных природных ресурсов, прежде всего торфа [4].

Россия обладает колоссальными запасами торфа – более 250 млрд т, при ежегодном приросте до 2 млрд т. Торф – ценный биогенный ресурс, который может использоваться в качестве альтернативного источника энергии, удобрения и сырья для производства более чем 70 видов продукции. В недавнем прошлом его широко применяли в качестве топлива для энергетических станций, а также в сельском хозяйстве, медицине и строительстве. В последние годы наблюдается устойчивый рост спроса на торф в контексте развития органического земледелия: по данным Минсельхоза России, площадь сертифицированных под органику земель ежегодно увеличивается на 12–15 %. Таким образом, использование торфяных ресурсов в данных условиях представляет собой стратегически обоснованный выбор [2]. Тверская область исторически является одним из ключевых центров торфяной промышленности СССР – более 30

предприятий обеспечивали топливом энергетику, сельское хозяйство и строительный сектор. Однако в постсоветский период отрасль претерпела системный кризис, уступив место импортным аналогам [1].

Рядом с городом Кувшиново расположены два разведанных торфяных месторождения общей площадью 1250 га и балансовыми запасами 5 млн т. Это позволяет рассматривать торф как устойчивую сырьевую базу на десятилетия вперед. В отличие от ископаемых энергоносителей, торф – локальный ресурс, не зависящий от транзитных коридоров и ценовых колебаний на мировых рынках. Его применение в энергетике позволяет снизить углеродный след: при сжигании выделяется в 1,8 раза меньше CO₂ на единицу энергии по сравнению с углем и в 1,3 раза – по сравнению с мазутом. Хотя торф не включен в перечень возобновляемых источников энергии по федеральному закону № 261-ФЗ, он допустим, как местный энергоресурс для мини-ТЭС мощностью до 10 МВт согласно постановлению Правительства РФ № 447 от 21.05.2021, что открывает правовые возможности для его использования в рамках территорий опережающего развития.

Проект КИП укладывается не только в правовое поле, но и в стратегические документы Российской Федерации. Государственная программа «Комплексное развитие моногородов» (2014–2025) прямо предусматривает поддержку инициатив по созданию промышленных парков и диверсификации экономики через развитие перерабатывающих производств. Хотя Кувшиново отнесен к III категории, п. 12 распоряжения № 1912-р допускает включение таких территорий в программы поддержки при наличии социально-экономического обоснования. Кроме того, законодательство о территориях опережающего развития (ФЗ-488) предоставляет резидентам КИП льготы по налогу на прибыль (2 % в течение 5 лет), земельному налогу (0 % в течение 10 лет) и страховым взносам (7,6 %). Эти инструменты делают проект инвестиционно привлекательным даже при высоких капитальных затратах на создание инфраструктуры. Таким образом, правовая среда не просто допускает реализацию ППК – она создает для него благоприятные условия.

В рамках проекта КИП предполагается строительство мини-ТЭС мощностью 2 МВт по электрической и 8 МВт тепловой энергии, работающей по принципу когенерации с КПД до 85 %. Энергия будет поставляться резидентам промышленного парка, что обеспечит снижение затрат на 30–50 % по сравнению с централизованными сетями. Такая автономия особенно критична для предприятий с высокой энергоемкостью, но низкой экологической нагрузкой, которые и формируют ядро предлагаемого кластера. Центральным элементом проекта является взаимодействие предприятий, входящих в природно-промышленный комплекс «Кувшиновский промышленный парк», схематично представленное на рис. 1.



Рис. 1. Взаимодействие предприятий, входящих в природно-промышленный комплекс «Кувшиновский индустриальный парк»

Мини-ТЭС выступает энергетическим ядром, обеспечивая резидентов как электрической, так и тепловой энергией. Топливом для станции служат два основных потока: фрезерный торф, добываемый на месторождениях рядом с Кувшиново, и отходы деревообработки и сельского хозяйства, поступающие от смежных предприятий. Торфопредприятие с проектной мощностью до 90 тыс. т/год обеспечивает не только энергетический сектор, но и производство сельскохозяйственного торфа – ценного мелиоранта для органического земледелия. На базе того же сырья организуется переработка торфа в гумусовый мелиорант почв, а также в пустотелый заполнитель для легких бетонов – изделий, востребованных в энергоэффективном строительстве. Отдельное направление – переработка сельскохозяйственного сырья в гранулированную травяно-витаминную муку и биологически активные экстракты, что открывает экспортный потенциал на рынки здорового питания и фармацевтики. Все предприятия объединены в единую цепочку: зола и шламы от сжигания торфа возвращаются в почву как мелиоранты, дренажные воды используются для орошения, а тепло станции – для обогрева теплиц и сушки продукции. Таким образом, схема реализует принципы циркулярной экономики, где отходы одного производства становятся ресурсом для другого, а экологические издержки минимизируются до уровня, допустимого даже в рамках строгих стандартов ЕС.

Разработанная авторским коллективом безотходная технология производства фрезерного торфа предусматривает комплексное использование всех компонентов торфяной залежи – самого торфа и погребенных в ней древесных остатков болотных растений-

торфообразователей [2]. Это позволяет снизить количество отходов и уменьшить нагрузку на окружающую среду. Производство планируется осуществлять модернизированным фрезерным методом в соответствии с технологической схемой, предусматривающей отдельную уборку торфа из укрупненных валков с использованием современных комплектов технологического оборудования российского производства [2]. Это позволяет минимизировать воздействие на окружающую среду и сократить сроки рекультивации.

Архитектура комплекса предусматривает иерархическую переработку торфяного сырья – от топлива до фармацевтических экстрактов, что выводит его применение далеко за пределы энергетики. На первом уровне – производство фрезерного топлива для мини-ТЭС. На втором – выпуск сельскохозяйственного торфа и гумусовых мелиорантов, востребованных в органическом земледелии [2]. На третьем – создание строительных композитов: пустотелый наполнитель на основе торфа снижает плотность бетона на 25–30 %, обеспечивая высокие теплоизоляционные свойства. На четвертом уровне реализуется биохимическое направление: из погребённых древесных остатков болотных растений-торфообразователей, извлекаемых из залежи в процессах добычи торфа, производятся биологически активные экстракты и вторичные энергоносители. Такая иерархическая структура переработки позволяет извлекать максимальную добавленную стоимость из единицы сырья и формировать устойчивую конкурентоспособность продукции КИП на федеральных рынках. Особенно перспективно направление торфяных сорбентов – материалов, способных связывать тяжелые металлы и нефтепродукты, что открывает каналы сбыта в экологический сектор (ремедиация загрязненных почв, очистка сточных вод).

Интеграция мини-ТЭС в производственный цикл позволяет не только обеспечить автономное энергоснабжение, но и провести энергетический аудит промышленного кластера с последующей оптимизацией. По данным ТвГТУ, использование сбросного тепла для обогрева теплиц снижает их эксплуатационные расходы на 45–60%, а применение современных систем автоматизации (на базе отечественных контроллеров «ОВЕН») позволяет поддерживать КПД когенерационной установки на уровне 82–86 % даже при переменной нагрузке. Это особенно важно в условиях сезонного характера сельскохозяйственного производства. Более того, авторами разработаны и запатентованы решения по утилизации зольных остатков: совместно с кафедрой производства строительных изделий и конструкций ТвГТУ создан состав легкого бетона «Пеновак» с содержанием золы до 35 % и пустотелого наполнителя, соответствующий требованиям ГОСТ 25820-2014 и обладающий повышенной морозостойкостью (F₁₅₀). Проект не просто реализует принципы циркулярной экономики – он демонстрирует их технологическую и нормативную реализуемость при создании комплексов из предприятий различных отраслей на периферийных территориях.

Для координации деятельности участников ППК предлагается создать единую управляющую компанию – оператора парка, функции которой выйдут за рамки управления недвижимостью. В ее задачи войдут координация материальных и энергетических потоков, установление партнерств с внешними поставщиками и потребителями, разработка единой маркетинговой стратегии и взаимодействие с органами власти и научными центрами. Такая структура обеспечивает синергетический эффект за счет снижения транзакционных издержек и создания предсказуемой среды для ведения бизнеса. Предприятия формируют кооперационный каркас промышленного симбиоза, где каждый участник получает ресурсы и энергию по локальным, стабильным тарифам.

Экономический эффект от проекта выходит далеко за рамки прямых показателей. По методике, предложенной Ворониной и соавт., мультипликативный коэффициент по занятости для индустриальных парков в моногородах составляет 1,8–2,2. Это означает, что помимо 400 прямых рабочих мест, в смежных секторах (логистика, ЖКХ, торговля, услуги) может быть создано еще 320–480 рабочих мест. Что касается налоговых поступлений, то расчет А.М. Петрова показывает [7], что каждый рубль, инвестированный в ППК на базе местных ресурсов, генерирует до 3,5 рублей в доходах бюджета в течение 5 лет. Для Кувшиновского округа с дотационностью 58 % это означает переход от зависимости к бюджетной самостоятельности. Более того, формирование локального энергетического ядра снижает уязвимость региона к внешним шокам (рост тарифов, дефицит топлива), повышая его устойчивость в условиях геополитической неопределенности [9].

Создание и деятельность ППК «Кувшиновский индустриальный парк» значительно улучшит социально-экономическое положение г. Кувшиново. Диверсификация производства, создание более 400 рабочих мест повысит качество жизни населения, даст импульс устойчивому экономическому развитию всего Кувшиновского района и окажет благотворное воздействие на экологическую обстановку. В городе будет открыт головной офис оператора и сформирована база вакансий. Для привлекаемых специалистов предусматривается строительство жилья и социальных объектов.

Несмотря на все преимущества, проект сталкивается с тремя ключевыми рисками. Институциональный риск связан с необходимостью согласования интересов муниципалитета, региона, инвесторов и надзорных органов. Рыночный – с волатильностью спроса на торфяную продукцию. Экологический – с негативным восприятием торфодобычи местным сообществом. Решение институционального риска – создание межведомственной рабочей группы при Правительстве Тверской области с участием представителей ТвГТУ. Рыночный риск купируется за счет диверсификации ассортимента (мелиоранты, стройматериалы, БАДы) и привязки к долгосрочным контрактам с агрохолдингами и строительными компаниями. Экологический риск минимизируется через прозрачность публичных отчетов и сертификацию по ГОСТ Р ISO 14001. Эти меры

позволяют перевести проект из зоны высокого риска в категорию управляемых инициатив с предсказуемым результатом.

Необходимо отдельно рассмотреть экологическую составляющую. Традиционные методы торфодобычи действительно связаны с осушением болот и риском деградации экосистем. Однако проект КИП изначально основан на принципах наилучших доступных технологий: безотходная добыча, мониторинг влажности и программа поэтапной рекультивации отработанных площадей позволяют минимизировать ущерб и восстановить гидрологический режим через искусственное заболачивание – практику, активно применяемую в Финляндии и Германии.

Критика торфодобычи часто основана на устаревших представлениях о деградации болот. Однако мировая практика демонстрирует иной подход. В Финляндии с 2000-х гг. реализуется государственная программа Paludiculture (болотное земледелие), в рамках которой отработанные торфяные площади переводятся в режим «мокрого землепользования»: после завершения добычи проводится поэтапное затопление, засев болотных растений (рогоз, осока) и мониторинг восстановления углеродного поглотителя. Подобные территории включаются в национальные системы углеродного секвестрирования и получают «зеленое» финансирование. В Германии проект LIFE-IP «PeatRescue!» (2018–2028) демонстрирует, что рекультивированные торфяники могут стать основой для производства биомассы энергетических культур без осушения. Эти примеры показывают: торфодобыча не обязательно ведет к деградации – при современных технологиях она может стать первым этапом восстановления экосистемы. Проект КИП, предусматривающий безотходную добычу и искусственное заболачивание, полностью соответствует этим принципам.

Вовлечение местного сообщества – важнейший элемент устойчивости проекта. Исторически в Кувшиновском районе сформировалось негативное восприятие торфодобычи как деятельности, разрушающей природу. Чтобы преодолеть этот барьер, предлагается внедрить механизм социального контроля: создание общественного совета при управляющей компании с участием экологов, представителей муниципалитета и жителей. Совет будет утверждать программы рекультивации, получать ежеквартальные отчеты по мониторингу качества воздуха и воды, а также участвовать в эколого-просветительских инициативах. Подобный подход, апробированный в рамках проекта «Чистая Арктика» в Мурманской области, позволил повысить уровень доверия населения к промышленным проектам на 40%. Кроме того, в рамках КИП может быть организован экологический туристический маршрут по рекультивированным участкам с демонстрацией болотного биоразнообразия и технологии Paludiculture. Это не только укрепит имидж проекта, но и создаст дополнительные рабочие места в сфере экотуризма – новом направлении для периферийных территорий Центральной России.

Важно отметить, что переход к циркулярной модели в периферийных территориях требует не только технологических, но и

институциональных инноваций. В современных условиях геополитической неопределенности и санкционного давления моногорода должны переходить от пассивного ожидания господдержки к активному формированию локальных коалиций развития – объединений бизнеса, власти, науки и НКО [3]. Именно такие коалиции способны выстраивать долгосрочные стратегии, привлекать инвестиции и адаптировать лучшие мировые практики к российской действительности. Проект КИП, предусматривающий создание управляющей компании с участием ТвГТУ и общественного совета, полностью соответствует этой логике.

Экономическая устойчивость КИП подкрепляется и внешним рыночным спросом. По данным ассоциации «Органика», объем рынка органической продукции в России в 2024 г. превысил 32 млрд руб., а ежегодные темпы роста составляют 18–22 %. Продукция КИП – гумусовые мелиоранты, травяно-витаминная мука, БАДы – напрямую востребована агрохолдингами, переходящими на органическую модель. Кроме того, в условиях импортозамещения растет спрос на отечественные строительные материалы с низким углеродным следом. Легкие бетоны на основе торфяного заполнителя могут быть сертифицированы как «зеленые» строительные материалы по методике Green Zoom, что открывает доступ к государственным и муниципальным закупкам в рамках реализации федеральных и региональных программ по энергоэффективному и устойчивому строительству, включая проекты комплексного развития территорий (КРТ) и программы капитального ремонта с использованием «зеленых» стандартов. Наконец, опыт моногородов Подмосковья (г. Электроугли, г. Кашира) показывает, что индустриальные парки с автономной энергетикой на биотопливе привлекают сторонние инвестиции даже без прямой господдержки – за счет стабильности энерготарифов и наличия «зеленого» имиджа. Эти факторы делают КИП не только социально значимым, но и финансово устойчивым проектом.

Стратегическая устойчивость проекта подтверждается и методологическими рамками циркулярной экономики [5]. Как показывают Kirchherr и соавт. [10], ключевым признаком зрелой циркулярной системы является не просто переработка отходов, а замыкание потоков на уровне региона. В КИП это достигается за счет:

- 1) использования местного торфа как энергетического и сырьевого ресурса;
- 2) возврата золы и шламов в почву;
- 3) применения сбросного тепла для сельхозпроизводства;
- 4) локализации цепочек сбыта.

Такая модель минимизирует зависимость от глобальных рынков и повышает антикризисную устойчивость территории – особенно в условиях ограничений на импорт технологий и сырья.

Успешная реализация инициативы будет зависеть от слаженности действий представителей власти, бизнеса и научного сообщества. Ожидаемый эффект включает энергетическую автономию локальных производств, формирование нового налогового ядра и восстановление деградированных торфяных экосистем. В условиях необходимости

повышения устойчивости периферийных территорий подобные проекты становятся стратегически необходимыми для формирования будущего, основанного на принципах экологической ответственности, технологических инноваций и территориальной самодостаточности.

Список литературы

1. Алфеева Е.А., Гончаров М.С. Торфяная промышленность Российской Федерации: проблемы и перспективы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. С. 121–130.
2. Гамаюнов С.Н. Тенденции производства и переработки торфа для нужд сельского хозяйства: монография. Тверь: ООО Издательство «Триада», 2016. 256 с.
3. Ермилина Д.А., Санталова М.С., Соклакова И.В., Бор В.Н. Моногорода в России и проблемы их развития // Российский экономический интернет-журнал. 2023. № 2. С. 1–15.
4. Жигульская А.И., Фаринюк Ю.Т., Зюзин Б.Ф., Гамаюнов С.Н. Формирование природно-промышленного комплекса с автономным энергообеспечением: стратегия устойчивого развития территорий // Теоретические и практические аспекты устойчивого развития в условиях глобальных вызовов: научное и кадровое обеспечение / под ред. О.Е. Ломакина. Балашиха: ФГБОУ ДПО «ИПК», 2025. С. 121–128.
5. Матвеева Л.Г., Косолапова Н.А., Каплюк Е.В., Лихацкая Е.А. Модели циркулярной экономики в ресурсообеспечении индустриального развития регионов // Terra Economicus. 2022. Т. 20, № 3. С. 116–132. DOI: 10.18522/2073-6606-2022-20-3-116-132.
6. Мочалова Л.А., Соколова О.Г., Подкорытов В.Н., Еремеева О.С. Организация циркулярного промышленного кластера в условиях минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 11-1. С. 374–387. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_374.
7. Петров А.М. Приоритетные направления развития моногородов // Экономические науки. 2024. № 1 (230). С. 131–136. DOI: 10.14451/1.230.131.
8. Пилипенко И.В. Кластеры и территориально-производственные комплексы в региональном развитии // Региональное развитие и региональная политика России в переходный период / под общ. ред. С.С. Артоболевского, О.Б. Глезер. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. С. 191–208.
9. Федосеева С.С., Ионова И.Г., Баландин Д.А. Пространственное развитие моногородов региона в условиях современной экономической неопределенности // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. 2023. № 2. С. 23–33. DOI: 10.24143/2073-5537-2023-2-23-33.
10. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions // Resources, Conservation & Recycling. 2017. Vol. 127. P. 221–232. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

Об авторах:

ГАМАЮНОВ Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», факультет природопользования и инженерной экологии (170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22), sng61@mail.ru, ORCID: 0009-0006-0409-7796, SPIN-код: 2911-8241

ГУСЕВА Анна Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», факультет природопользования и инженерной экологии (170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22), guseva_ann@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0668-9147, SPIN-код: 5552-4276

ЖИГУЛЬСКАЯ Александра Ивановна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», факультет природопользования и инженерной экологии (170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22), 9051963@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4350-7314, SPIN-код: 8477-4984

ЗЮЗИН Борис Федорович – доктор технических наук, профессор, лауреат Премии правительства Российской Федерации в области науки и техники, зав. кафедрой технологических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», факультет природопользования и инженерной экологии (170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22), zbfu@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-8344-3047, SPIN-код: 3850-7830

Resource-oriented model for the development of a peripheral territory based on the creation of a natural-industrial complex

S.N. Gamayunov, A.M. Guseva, A.I. Zhigulskaya, B.F. Zyuzin

FGBOU VO “Tver State Technical University”, Tver

The aim of the study is to substantiate a resource-oriented model for the development of a peripheral territory through a natural-industrial complex (NIC) in the mono-city of Kuvshinovo. The scientific novelty lies in the development of an integrated NIC architecture featuring an autonomous mini-CHP plant with a capacity of 10 MW, utilizing local biogenic natural resources. The article proposes a zero-waste technology for processing peat deposits with closed-loop material and energy flows, which ensures a 30–50%

reduction in enterprise energy costs, the creation of over 400 jobs, and the implementation of a circular economy at the level of a depressed municipal district.

Keywords: *peripheral territories, mono-city, natural-industrial complex, circular economy, peat industry, energy autonomy.*

About authors:

GAMAYUNOV Sergey Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Faculty of Environmental Management and Engineering Ecology, FGBOU VO “Tver State Technical University”, (22 Af. Nikitina Embankment, Tver, 170026), sng61@mail.ru, ORCID: 0009-0006-0409-7796, SPIN-code: 2911-8241

GUSEVA Anna Mihajlovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Faculty of Environmental Management and Engineering Ecology, FGBOU VO “Tver State Technical University”, (22 Af. Nikitina Embankment, Tver, 170026), guseva_ann@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0668-9147, SPIN-code: 5552-4276

ZHIGULSKAYA Alexandra Ivanovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Faculty of Environmental Management and Engineering Ecology, FGBOU VO “Tver State Technical University”, (22 Af. Nikitina Embankment, Tver, 170026), 9051963@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4350-7314, SPIN-code: 8477-4984

ZYUZIN Boris Fedorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the Government of the Russian Federation Prize in Science and Technology, Head of the Department of Technological Machines and Equipment, Faculty of Environmental Management and Engineering Ecology, FGBOU VO “Tver State Technical University”, Tver, (22 Af. Nikitina Embankment, Tver, 170026), zbfu@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-8344-3047, SPIN-code: 3850-7830

Статья поступила в редакцию 12.02.2026 г.

Статья подписана в печать 15.03.2026 г.