

УДК 378.147.091.33A027.22:678.02
DOI: 10.54835/18102883_2026_39_3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПОГРУЖЕНИЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ПРОИЗВОДСТВО ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Якубовский Юрий Евгеньевич,

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры прикладной механики,
jakubovskijje@tyuiu.ru

Хайруллина Лариса Батыевна,

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры техносферной безопасности,
hajrullinalb@tyuiu.ru

Александров Сергей Вячеславович,

старший преподаватель кафедры техносферной безопасности,
aleksandrovsv@tyuiu.ru

Лыкова Анна Николаевна,

научный сотрудник кафедры прикладной механики,
lykovaan@tyuiu.ru

Тюменский индустриальный университет,
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

Аннотация: Современное обучение в высших учебных заведениях должно перестраиваться таким образом, чтобы была тесная взаимосвязь между образованием, наукой и производством. **Цель:** формирование траектории технологического погружения обучающихся в развитие производства полимерных композитных материалов, изготовление продукции из этих материалов и решение вопросов экологической безопасности через переработку вторичных термопластичных полимеров за счет сокращения полимерных отходов. В качестве примера рассмотрим разработки технологий производства композитов и изделий из них на основе термопластичных и термореактивных полимеров. Результатом решения рассматриваемых задач будет курс обучения по технологиям производства полимерных композитных материалов. Построение образовательного процесса будет таким образом, что студенты в период обучения занимаются научными исследованиями, инновациями, то есть практическим внедрением технологий создания полимерных композитных материалов и продукции из них.

Ключевые слова: Технологическое погружение, производство, полимерные композитные материалы (ПКМ), образование, научная деятельность, инноватика, наночастицы, наполнитель, жесткость, модификатор.

Научные исследования выполняются в рамках гранта Западно-Сибирского межрегиональный НОЦ мирового уровня. Имеется соглашение от 09.12.2024 г. № 01-16/2024.

Введение

Развитие производства инновационных полимерных композитных материалов и изделий требует наличия опытных и квалифицированных специалистов. Немаловажную роль в решении таких вопросов имеет подготовка кадров в форме технологического погружения. Обучение рассматривается через введение в образовательный процесс курса по разработке новых технологий.

Метод проектов применяется, как элемент системы обучения и представляет собой такую организацию самостоятельной деятельности студентов, которая направлена на решение какой-то проблемы, на достижение определенного результата и ориентирована на раскрытие личности обучающего при работе над

поставленными задачами [1]. Такое развитие образования невозможно без результатов научной деятельности, которое применяется для решения профессиональных задач и получения новых знаний по развитию инновационных технологий в производстве. [2]. У студентов соответствующих направлений, при внедрении в образовательный процесс курса по разработке инновационных композитных материалов и изделий из них, возникает понимание взаимосвязи между образованием, наукой и производством. В результате, обучающиеся получают более глубокие специальные знания по задачам производства инновационных технологий изготовления композитных материалов и изделий [3].

При выполнении проектов решаются вопросы коммерциализации, то есть осуществляется выход на рынок самим ВУЗом или совместно с предприятием и (или) научным центром [4]. Возможны также и другие схемы вариантов создания структуры проектной деятельности, с учетом потребностей промышленности в молодых специалистах. ВУЗы должны принимать участие в решении основных вопросов экономического развития регионов и всей страны в целом [5].

Рассматривается организация образовательной деятельности в системе «Наука – ВУЗ – Производство – Инновации» через исследования, проводимые совместно с предприятием, через производство продукции под целевое назначение. Разработки осуществляются через создание технологий изготовления полимерных композитных материалов с различными наполнителями.

Решение такой задачи возможно через создание центров обучения, где в учебный процесс будут вовлечены преподаватели (специалисты в этой области) и работники с производства [6]. Это дает возможность лучше и плодотворнее построить учебный процесс, совмещая научно-исследовательскую деятельность с практической реализацией [7]. В качестве примера для технологического процесса производства рассмотрим исходное сырье, где используются вторичные бросовые термопластичные полимеры [8]. Переработка этого материала решает промышленные экологические проблемы и воспитывает бережное отношение обучающихся к окружающей среде.

Материалы и методы

На первом этапе реализации технологического процесса исследований, в рамках выполнения научно-исследовательской работы (в качестве примера), изготавливаются смеси из термопластичного полимера – полиэтилена высокой плотности (низкого давления) марки HD 85612 IM [9] и пластификатора. Состав пластификатора (отработанный вариант, имеется патент) есть на основе смесей солей: гипса, солевого осадка, гипсового осадка с многоатомным спиртом ЭТМ-280 и полиизобутиленом PIB-1300. Полученные образцы выдерживаются в муфельной печи при температуре 250 °С в течение трех часов. После медленного охлаждения и отверждения образцы исследуются на твердость с помощью

метода «Метод вдавливания» [10], т. е. проверяется насколько полимер пластифицируется.

Для промышленных экспериментов подготавливаются смеси для образцов продукции (например, крышек канализационных люков из полимерпесчаного композита [8, 11]). Для анализа поведения продукции под нагрузкой проводятся теоретические расчеты прогиба базового варианта продукции, выпускаемой заводом, и осуществляется его сравнение по жесткости с новыми опытными образцами. Расчеты деформирования выполнены в линейной постановке [12], так как в данный момент модель нелинейного деформирования не построена. Сравнение проводится базового варианта (выпускаемого заводом) и полученного.

Результаты и обсуждение

В процессе образовательной деятельности обучающиеся смогут заниматься научными исследованиями в области создания композитных материалов и решения вопросов экологической безопасности, в частности сокращение полимерных отходов. Вторичные полимерные отходы являются материалом для изготовления новой продукции. Таким образом, из вторичных компонентов производятся новые композитные материалы с целевыми характеристиками под назначение соответствующей продукции. Одним из решений данной задачи является получение продукции с включением тугоплавких вторичных полимерных отходов [13]. Со временем масштабность задач существенно возрастает, что связано с необходимостью утилизации огромного количества вторичного полимерного сырья. Композитные материалы, изготовленные из вторичного полимерного сырья, имеют широкий спектр применения в народном хозяйстве. [14].

Поиск научных исследований содержит множество направлений, в рамках которых можно осуществлять решения задач через проектную деятельность инновационного процесса обучающихся. Композитные материалы применяются во многих отраслях промышленности, и поэтому могут затрагивать несколько направлений подготовки (строительство, химическая технология, транспорт, безопасность, нефтегазовое дело и др.). Решением вопросов создания продукции из композитного материала и является развитие технологии производства композитных мате-

риалов. Особую роль играет основа исходного сырья (первичные и вторичные полимеры). Решая задачи формирования полимерных композитных материалов, представляется возможность работы над вопросами экологической безопасности, так как утилизация вторичных полимерных отходов является одной из глобальных проблем экологии во всем мире. В настоящее время она не решена.

Одна из проблем заключается в том, что состав вторичного полимерного сырья содержит тугоплавкий бросовый материал (сечка), для переработки которого требуется введение в технологический процесс модификатора. От выбора состава модификатора в сочетании с наполнителем зависят характеристики получаемой продукции. Модификатор в сочетании с бросовым полимером выполняет роль связующего между всеми составляющими исходных компонентов композитного материала при его изготовлении. Происходит пластификация вторичного материала.

Работая над перечисленными задачами, в процессе обучения студенты знакомятся с потребностями производства, приобретают необходимые знания по возможным технологиям и применяемому оборудованию. При проведении процесса обучения с технологическим погружением в производство, в принятие управленческих решений необходимо применять междисциплинарный подход. При этом должна решаться задача экономической эффективности. Такая система дает возможность для обучающихся, получать более глубокие специальные знания по задачам производства. Также, в образовательный процесс требуется вовлечение не только преподавателей кафедр, но и специалистов с производства.

Реализация такого курса образовательного процесса для обучающихся университета, с изучением реальных технологий переработки полимерного сырья с получением готовых изделий в системе «Наука – ВУЗ – Производство – Инновации», дает возможность вести подготовку высококвалифицированных специалистов.

На первом этапе данного подхода обучения планируется плавный (эволюционный) подход реализации основных процессов в рамках методологии передовых инженерных школ (ПИШ). Структура обучения предполагает быть инновационным центром с лабораторной базой и производственной площадкой (промышленными предприятиями).

В Тюменском индустриальном университете, в рамках Западно-Сибирского НОЦ МУ, одним из направлений научной деятельности является решение вопросов экологической безопасности через утилизацию вторичного полимерного сырья. Преподавательский коллектив имеет определенный опыт в этом направлении, имеются публикации, заявлены патенты, проведено ряд исследований.

Научно-образовательный центр призван обеспечить «развитие» проектов по четырем стадиям: от стадии научного исследования к стадии разработки инновации, далее к стадии трансфера технологии в производство и, наконец, к стадии формирования новых рынков высокотехнологичной продукции. Цель научно-образовательного центра – продвижение проектов по сторонам ромба (рис. 1 и 2), создавая условия и связи между образовательным, научным и реальным секторами экономики [15]. По сути, инновационный проект включает в себя исследования (производство новых знаний); НИОКР (создание опытного образца, продукта); выстраивание технологий производства продукта (технологическая линия); предпринимательство как линия масштабирования продукта и вывода на рынки. Перечисленные четыре стадии формируют цикл развития инновационного проекта. Оценку уровня развития отдельного проекта представляем в формате «Ромба Островского-Фалькова» [16].

Ключевой момент в оценке – это мера эффективности реализации проекта на всех этапах – от идей до производства и инновационного обучения в этих областях, через этапы разработки технологий, создания востребованных наукоёмких продуктов. Оценка уровня технологий, продукта, рыночной и производственной готовности к изготовлению и реализации будет проводиться в соответствии с ГОСТами, введенными в 2025 г. [17–20]. Выделяются стадии возможного развития инновационного проекта от показателей (рис. 1) до результатов (рис. 2), то есть разделяется входная (на момент представления проекта) и планируемая готовность, связанная с работой над проектом по этапу времени (в течение одного семестра).

В соответствии с методологией рис. 1, 2 осуществляется оценка проекта по четырем направлениям: 1 – уровень продукта по отношению к рыночной готовности (CRL); 2 – уровень продукта по отношению к готовности

технологий (TRL); 3 – оценка уровня производственной готовности (MRL); 4 – оценка уровня инвестиционной готовности (IRL).

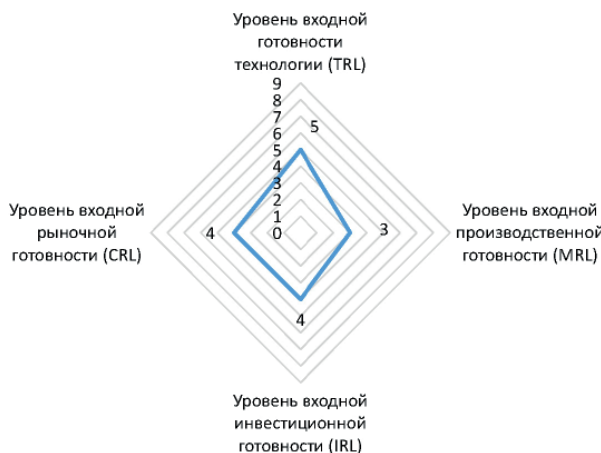


Рис. 1. Комбинированный подход в оценке входного развития инновационного проекта, в сочетании ромба «Островского–Фалькова» и ГОСТов трансфера технологий CRL, TRL, MR и IRL

Fig. 1. Combined approach to assessing the input development of an innovative project, in combination with the «Ostrovsky-Falkov» rhombus and the State Standards of Technology Transfer CRL, TRL, MRL and IRL

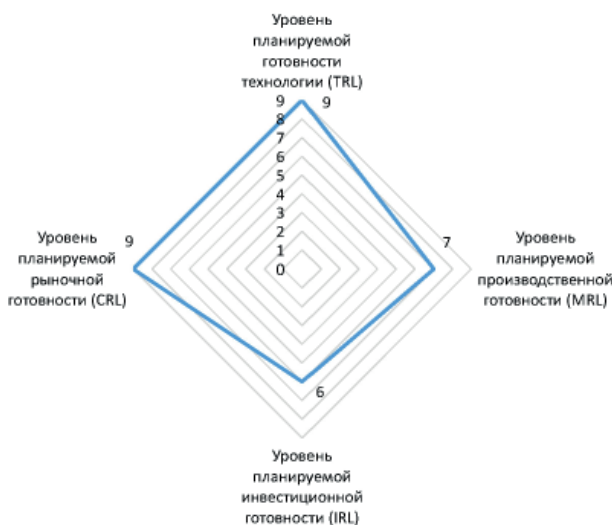


Рис. 2. Комбинированный подход в оценке планируемого развития инновационного проекта, в сочетании ромба «Островского – Фалькова» и ГОСТов трансфера технологий CRL, TRL, MRL и IRL

Fig. 2. Combined approach to assessing the planned development of an innovative project, in combination with the «Ostrovsky-Falkov2 rhombus and the State Standards of Technology Transfer CRL, TRL, MRL and IRL

Главной задачей является выделение параметров, по которым осуществляется оценка качества выполнения проекта и определение объема инвестирования. Полученный результат оценки будет определяться согласно раз-

нице показателей между входной оценкой и фактической на данный момент (рис. 1 и 2).

Параметры оценки качества выполнения проекта и методика определения объема инвестирования заключаются в следующем: преподавателем по численным результатам, оценки уровней готовности, строятся ромбы (рис. 1) для проекта на базе комбинированного подхода. Для этого используется ромб «Островского–Фалькова» (четыре проекции) с обозначением результатов и указанием уровня разработанной технологии и продукта в рамках четырех ГОСТов (IRL, CRL, TRL, MRL). Выделяются бизнес-направления с указанием сроков выполнения. Осуществляется планирование зарабатываемых и инвестиционных монетарных показателей, затраты ресурсов. Когда работа только начинается показатели можно планировать. Это относится к получаемым (+) и необходимым затратным объемам финансов в разработке технологии и продукта для потенциального потребителя. Затем вводятся корректирующие и предупреждающие действия (в рамках цикла Деминга). В качестве примера отметим, что необходимы затраты на создание инфраструктуры для запуска лаборатории «Композитные материалы» в межвузовском кампусе мирового уровня г. Тюмени.

Результат оценки инвестиционной готовности получаем через произведение чисел уровней готовности IRL, CRL, TRL и MRL. Осуществляется вычисление, которое отождествляется с объемом возможных инвестиций. Методику необходимо уточнять по вопросу однозначного соответствия результата через произведение показателей IRL, CRL, TRL и MRL и вложения финансов с учетом возможных поправок в направление работ проекта, то есть формируются финансовые объемы затрат и заработка.

Имеется возможность, что планируемые и фиксируемые показатели изменения уровня готовности хотя бы одного из четырех ГОСТов (IRL, CRL, TRL, MRL) будут близки к нулю, то есть полученный результат оценки числа готовности будет мал. И это также относится к малым величинам уровней готовности в рамках ГОСТов. Но когда фактическая оценка уровня готовности высока, то есть проект будет принят, например в НОЦ, но планируемые изменения результатов, разрабатываемые в проекте малы, то и планируемые финансы будут не велики. Это связано с тем, что придется раз-

личать уровень готовности проекта на данный момент и планируемые горизонты трансформации по проектам на 2026–2028 гг.

По результатам работ над проектом будут видны изменения. Каждый раз вновь за прошедший период анализируется уровень готовности. Используя схему замкнутого цикла Деминга, решается вопрос объема и направления дальнейших трат. По сути, формулируются корректирующие и предупреждающие действия. Это все выполняется после оценки полученных результатов один раз в полгода (семестр). Корректирующие и предупреждающие действия рассматриваются, используя идеологию замкнутого цикла Деминга. Это делается в рамках основных и обеспечивающих процессов проекта.

Обучение, каждого студента осуществляется по индивидуальной траектории, в зависимости от выбранной специализированной подготовки, вовлечения в выполнение промышленного проекта, от производственного партнера и т. д. В итоге его выбор определен видением своего будущего направления деятельности. Вопросы выбора траектории обучения, по мнению авторов, надо решать поэтапно. Здесь разделяются во времени зоны подготовки. Обучение начинается с теоретических аспектов научной деятельности, так как необходимо именно знание законов и методов проведения научных исследований, умение планировать эксперименты, проводить анализ полученных результатов. Теоретическая часть обязательно включает изучение дисциплин, дающую фундаментальную подготовку по химико-физическим свойствам полимеров, технологиям получения композитных материалов, их требуемым характеристикам и свойствам.

В процессе изучения теоретических аспектов лекции и практические занятия должны чередоваться с лабораторными, в сочетании с проведением семинаров. В технологическую часть условно (зоны подготовки обучающихся) включается проведение лабораторных экспериментов в лаборатории университета и на производственной площадке предприятия. Более детально зоны обучения специалистов будут описаны в образовательной программе данного направления. Это способствует повышению профессионализма в соответствии с требованиями работодателей. В процессе будут привлекаться специалисты с производства, которые будут давать знания обучающимся о конкретных технологиях и оборудовании предприятия.

Заключение

Таким образом, обучение в виде формирования траектории технологического погружения в производство полимерных композитных материалов будет осуществляться в системе взаимодействия научных исследований ВУЗа и промышленности. Обязательным условием является появление и развитие концепции синергии академического образования в сочетании с реальным производственным опытом. Для реализации обучения по данной схеме обязательно наличие производственных и научных партнеров.

Для осуществления такой образовательной деятельности в системе «Наука – ВУЗ – Производство – Инновации» необходимо создать инфраструктуру для научных исследований. Экспериментальные исследования проводятся в лабораторных условиях ВУЗа и на промышленных производственных площадках предприятий. По результатам совместной работы над проектом планируется влияние образовательной сферы на развитие промышленного сектора. Последнее предполагает не только участие преподавателей, но и специалистов в образовании, которые знают проблемы промышленности. В ВУЗах формируются коллективы, решающие промышленные проблемы [8]. Повышенная концентрация умных и талантливых людей, в сравнении с остальными сообществами, – обязательное условие развития университета.

Реализация проектов под эгидой Западно-Сибирского НОЦ МУ позволит предприятиям Тюменской области снизить затраты на сырье за счет использования вторичных полимеров. Экология региона получит возможность утилизировать ежегодно до 100 т полимерных отходов, что сократит экологический ущерб. Деятельность НОЦ усилится как с позиции центра инноваций в области «зеленых» технологий, так и с позиции привлечения дополнительного финансирования (гранты, промышленные контракты).

Следует отметить, что разрабатываемая модель соответствует стратегическим направлениям нацпроектов «Экология» и «Наука и университеты», а также инициативам передовых инженерных школ. Внедрение методики оценки готовности расширит инструментарий для коммерциализации разработок проекта, в том числе в рамках стратегии развития Западно-Сибирского НОЦ МУ. Такой подход в учебной деятельности сформирует среду, где обучающиеся, преподавательский состав и производственники способствуют возможности сочетания научной, инновационной и образовательной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Донская Е.Ю. Применение проектного обучения в высшей школе // Мир науки. Педагогика и психология. – 2023. – Т. 11. – № 3. – Порядковый номер: 11 EDN: NPXCWX.
2. Муратова И.А. Проектное обучение студентов как основное условие их готовности к профессиональной деятельности // Современное педагогическое образование. – 2022. – № 9. – С. 171–176. EDN: CBHZEW.
3. Мишин И.Н. Реализация проектной деятельности в системе студент-центрированного обучения // Высшее образование в России. – 2022. – № 3. – С. 140–151. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-3-140-151. EDN: IXKFFB.
4. Боков А.А., Катаев М.Ю., Поздеева А.Ф. Технология группового проектного обучения в вузе как составляющая методики подготовки инновационно-активных специалистов // Современные проблемы науки и образования. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11762> (дата обращения 20.06.2025).
5. Зершикова Т.А. О способах реализации метода проектов в ВУЗе // Проблемы и перспективы развития образования: материалы Международной научной конференции. – Пермь: Меркурий, 2011. – С. 79–82. EDN: VJZMIJ.
6. Сандриева Л.М., Салихова Г.А. Ключевые этапы организации технологии проектного обучения в нефтяном ВУЗе // Проблемы современного педагогического образования. – 2022. – № 75-4. – С. 258–262. EDN: YPSKTM.
7. Попп Е.А., Малыгина О.И. Проектное обучение как фактор повышения конкурентоспособности выпускников ВУЗов на рынке труда // Актуальные вопросы образования. – 2021. – № 2. – С. 133–136. EDN: IYKWXX.
8. Якубовский Ю.Е., Хайруллина Л.Б., Дубровский Е.Г. Решение вопросов экологической безопасности посредством переработки вторичных термопластов // Экология и промышленность России. – 2024. – Т. 28. – № 12. – С. 4–7. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-12-4-7>. EDN: VHWOJE.
9. Якубовский Ю.Е., Хайруллина Л.Б., Дубровский Е.Г. Технология изготовления канализационных люков из вторичных полимеров нефтехимии // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2023: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2023. – С. 263–265. EDN: ZHUFRG.
10. ГОСТ 24622-91. Пластмассы. Определение твердости. Твердость по Роквеллу. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200018709> (дата обращения 20.06.2025).
11. Якубовский Ю.Е., Кусков К.В. Малотоннажная химия в переработке полимеров нефтехимии // Наука и технологии Сибири. – 2022. – № 5. – С. 106–110.
12. Якубовский Ю.Е., Хайруллина Л.Б. Развитие технологий с использованием малотоннажной химии в переработке термопластичных полимеров // Перспективные технологии и материалы: материалы Международной научно-практической конференции. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2022. – С. 430–432. EDN: TIOVWA.
13. Liu Ya., Zhao Q., Gu X., Fan A., Zhu Sh., Su Q., Kang Li., Feng L. Research on the Application of New Building Recycled Insulation Materials for Walls // Polymers. – 2024. – Vol. 16. – No. 15. – Article number: 2122. DOI: 10.3390/polym16152122. EDN: GNUBDC.
14. Кудина Е.Ф., Ефимчик К.В. Методы утилизации и рециклинга полимерных композиционных материалов // Полимерные материалы и технологии. – 2022. – Т. 8. – № 4. – С. 77–86. DOI: <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-77-86>. EDN: OPLWWU.
15. Дзензелюк Н.С., Новосад В.М. Оценка уровней готовности как инструмент управления технологическими проектами: задачи, проблемы и особенности применения для проектов НОЦ // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2022. – Т. 16. – № 3. – С. 153–164. DOI: 10.14529/em220317. EDN: QKUGAZ.
16. Долганов Д.Н. Проблемы и перспективы проектного обучения // Вестник экспериментального образования. – 2021. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-proektnogo-obucheniya?ysclid=moonmga313983355813> (дата обращения 20.06.2025).
17. ГОСТ Р 71726-2024. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня готовности технологий (TRL). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1310185632> (дата обращения 20.06.2025).
18. ГОСТ Р 71727-2024. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня рыночной готовности (CRL). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1310185633> (дата обращения 20.06.2025).
19. ГОСТ Р 71728-2024. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня производственной готовности (MRL). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1310185634> (дата обращения 20.06.2025).
20. ГОСТ Р 71726-2024. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня инвестиционной готовности (IRL). URL: https://allgosts.ru/03/100/gost_r_71729-2024 (дата обращения 20.06.2025).

Поступила: 13.12.2025

Принята: 20.06.2026

UDC 378.147.091.33A027.22:678.02
DOI: 10.54835/18102883_2026_39_3

TECHNOLOGICAL INDUCTION OF STUDENTS INTO THE PRODUCTION OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Yuri E. Yakubovsky,

Dr. Sc., Professor, Professor of the Department of Applied Mechanics,
jakubovskijje@tyuiu.ru

Larisa B. Khairullina,

Cand. Sc., Associate Professor, Associate Professor
of the Department of Technosphere Safety,
hajrullinalb@tyuiu.ru

Sergey V. Alexandrov,

Senior Lecturer at the Department of Technosphere Security,
aleksandrovsv@tyuiu.ru

Anna N. Lykova,

Research Fellow at the Department of Applied Mechanics,
lykovaan@tyuiu.ru

Industrial University of Tyumen,
38, Volodarsky Str., Tyumen, 625000, Russian Federation

Abstract. Modern education in higher educational institutions should be restructured in such a way that there is a close relationship between education, science, and production. The goal is to create a trajectory of technological immersion for students in the development of polymer composite materials, the production of products from these materials, and the solution of environmental safety issues through the recycling of secondary thermoplastic polymers by reducing polymer waste. As an example, we will consider the development of technologies for the production of composites and products from them based on thermoplastic and thermosetting polymers. The result of solving these problems will be a training course on the technologies of the production of polymer composite materials. The educational process will be structured in such a way that students will engage in scientific research and innovation during their studies, which will involve the practical implementation of technologies for creating polymer composite materials and products.

Keywords: technological immersion, manufacturing, polymer composite materials (PCM), education, scientific activity, innovation, nanoparticles, filler, stiffness, modifier.

The research is being conducted under a grant from the West Siberian Interregional World-Class Scientific and Educational Center. Agreement No. 01-16/2024, dated December 9, 2024, exists.

REFERENCES

1. Donskaya E.Yu. Application of project-based learning in higher education. *World of Science. Pedagogy and psychology*, 2023, vol. 11, no. 3, Serial number 11. (In Russ.) EDN: NPXCWX.
2. Muratova I.A. Project based learning of students as the main condition of their readiness for professional activities. *Modern pedagogical education*, 2022, no. 9, pp. 171–176. (In Russ.) EDN: CBHZEW.
3. Mishin I.N. Implementation of Project Activities in the System of Student Centered Learning. *Vysshee Obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*, 2022, no. 3, pp. 140–151. (In Russ.) DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-3-140-151. EDN: IXKFFB.
4. Bokov L.A., Kataev M.Yu., Pozdeeva A.F. Technology of group project-based learning in a university as a component of the methodology for training innovative and active specialists. *Modern problems of science and education* (In Russ.). Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11762> (accessed 20 June 2025).
5. Zershchikova T.A. On the methods of implementing the project method in a university. *Problems and prospects for the development of education: Proceedings of the International Scientific Conference*. Perm: Mercury Publ., 2011. pp. 79–82. (In Russ.) EDN: VJZMIJ.
6. Sadrieva L.M., Salikhova G.L. Key stages of organizing project learning technology at an oil university. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya*, 2022, no. 75-4, pp. 258–262. (In Russ.) EDN: YPSKTM.

7. Popp E.A., Malygina O.I. Project-based training as a factor of increasing the competitiveness of university graduates in the labor market. *Aktualnye voprosy obrazovaniya*, 2021, no. 2, pp. 133–136. (In Russ.) EDN: IYKWXXQ.
8. Yakubovsky Yu., Khairullina L., Dubrovsky E. Addressing Environmental Safety Issues Through Recycling of Secondary Thermoplastics. *Ecology and Industry of Russia*, 2024, vol. 28, no. 12, pp. 4–7. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-12-4-7>. EDN: VHWOJE.
9. Yakubovsky Yu.E., Khairullina L.B., Dubrovsky E.V. Technology of manufacture of sewer manholes from secondary polymers of petrochemistry. *Environmental, Industrial, and Energy Security – 2023: Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference*. Sevastopol, Sevastopol State University Press, 2023. pp. 263–265. (In Russ.) EDN: ZHUFRG.
10. GOST 24622-91. Plastics. Determination of hardness. Rockwell hardness. (In Russ.) Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200018709> (accessed 20 June 2025)
11. Yakubovsky Yu.E., Kuskov K.V. Small-tonnage chemistry in the processing of petrochemical polymers. *Science and technology of Siberia*, 2022, no. 5, pp. 106–110. (In Russ.)
12. Yakubovsky Yu.E., Khairullina L.B. Development of technologies using low-tonnage chemistry in the processing of secondary polymers. *Advanced Technologies and Materials: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Sevastopol, Sevastopol State University Press, 2022. pp. 430–432. (In Russ.) EDN: TIOVWA.
13. Liu Ya., Zhao Q., Gu X., Fan A., Zhu Sh., Su Q., Kang Li., Feng L. Research on the Application of New Building Recycled Insulation Materials for Walls. *Polymers*, 2024, vol. 16, no. 15, article number: 2122. DOI: 10.3390/polym16152122. EDN: GNUBDC.
14. Kudina E.F., Yefimchyk, K.V. Disposal and recycling methods polymeric composite materials. *Polymer Materials and Technologies*, 2022, vol. 8, no. 4, pp. 77–86. (In Russ.) DOI: <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-77-86>. EDN: OPLWWU.
15. Dzenzeliuk N.S., Novosad V.M. Assessing the readiness levels as a tool for management of technological projects: objectives, problems and features of application for projects of research and education centers. *Bulletin of the south Ural state university. Series: Economics and management*, 2022, vol. 16, no. 3, pp. 153–164. (In Russ.) DOI:10.14529/em220317. EDN: QKUGAZ.
16. Dolganov D.N. Problems and Prospects of Project-Based Learning. *Bulletin of Experimental Education*, 2021. (In Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-proektnogo-obucheniya?ysclid=moonmga313983355813> (accessed 20 June 2025).
17. GOST R 71726-2024. *Technology transfer. Methodological instructions for assessing the technology readiness level (TRL)*. (In Russ.) Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1310185632> (accessed 20 June 2025).
18. GOST R 71727-2024. *Technology transfer. Methodological instructions for assessing the commercialization readiness level (CRL)*. (In Russ.) Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1310185633> (accessed 20 June 2025).
19. GOST R 71728-2024. *Technology transfer. Methodological instructions for assessing the manufacturing readiness level (MRL)*. (In Russ.) Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1310185634> (accessed 20 June 2025).
20. GOST R 71726-2024. *Technology transfer. Methodological instructions for assessing the investment readiness level (IRL)*. (In Russ.) Available at: https://allgosts.ru/03/100/gost_r_71729-2024 (accessed 20 June 2025).

Received: 13.12.2025

Accepted: 20.06.2026