



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
филиал ФГБОУ ВО «РГГМУ» в г. Туапсе

Кафедра «Метеорологии экологии и природопользования»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)
по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование»
(квалификация – бакалавр)

На тему «Пути снижения негативного воздействия на окружающую среду предприятий промышленности»

Исполнитель: Чакрян Давид Юрьевич

Руководитель: к.с.х.н., доцент Цай Светлана Николаевна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай Светлана Николаевна

« 19 » июня 2026 г.

Филиал	государственного
гидрометеорологического	университета в г. Туапсе
НОРМОКОНТРОЛЬ ПРОЙДЕН	
« 19 » июня 2026 г.	
	Рисанова М.А.
РАСЦИФРОВКА ПОДПИСИ	

Туапсе
2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Общая характеристика группы компаний «Исток-Полиэстр», как источника негативного воздействия на окружающую среду.....	7
1.1 Физико-географическая характеристика района размещения исследуемого предприятия.....	7
1.2 Характеристика группы компаний «Исток-Полиэстр» и их производственного процесса.....	14
2 Анализ и оценка технологического процесса производства бассейнов компанией «Исток-Полиэстр» и оценка его воздействия на окружающую среду.....	19
2.1 Анализ технологического процесса производства композитных бассейнов и применяемых материалов.....	19
2.2 Выявление источников и видов негативного воздействия на окружающую среду.....	28
2.3 Оценка негативного воздействия предприятия на окружающую среду.....	31
3 Разработка предложений по снижению негативного воздействия группы компаний «Исток-Полиэстр» на окружающую среду.....	41
3.1 Мероприятия по снижению негативного воздействия группы компаний «Исток-Полиэстр» на окружающую среду.....	41
3.2 Расчет эколого-экономического эффекта от внедрения предложенных мероприятий.....	48
Заключение.....	53
Список использованной литературы.....	58

Введение

Актуальность темы исследования. В последние десятилетия производство изделий из полимерных композитных материалов (ПКМ) в Российской Федерации демонстрирует устойчивый рост. Согласно данным Минпромторга РФ, объём рынка стеклопластиков увеличился в 2023–2025 гг. в среднем на 8–10% ежегодно. Одним из самых востребованных сегментов является производство композитных бассейнов, которые благодаря высокой коррозионной стойкости, лёгкости и долговечности вытесняют традиционные бетонные и металлические конструкции. Однако интенсификация производства ПКМ сопровождается обострением экологических проблем, связанных с использованием токсичных связующих (ненасыщенных полиэфирных смол, содержащих стирол), а также образованием трудно перерабатываемых отходов.

Стирол относится ко 2-му классу опасности (вещества высокоопасные). Его предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны составляет 5 мг/м³, а для атмосферного воздуха населённых мест – 0,04 мг/м³ (ПДК максимальная разовая). Превышение этих нормативов на предприятиях без систем локализации и очистки выбросов фиксируется в 35–40% случаев по данным Росприроднадзора. Длительное воздействие стирола на человека вызывает поражение центральной нервной системы, печени, органов кроветворения. Кроме того, при производстве композитных бассейнов выделяется мелкодисперсная пыль стеклопластика (III класс опасности), которая при вдыхании приводит к профессиональным заболеваниям лёгких – пневмокониозу.

Особую остроту проблема приобретает для предприятий, расположенных в курортных зонах с высокой плотностью населения и особо охраняемыми природными территориями. Краснодарский край является одним из самых экологически чувствительных регионов России. Здесь ежегодно отдыхают миллионы туристов, и состояние атмосферного воздуха напрямую влияет на здоровье людей и инвестиционную привлекательность региона.

Объектом нашего исследования выступает ООО «Золотой берег», входящая в группу компаний «Исток-Полиэстр» (бренд FRANMER), расположенных в Туапсинском муниципальном округе Краснодарского края (п. Октябрьский). Предприятие работает с 2002 года, выпускает до 1200 композитных чаш для бассейнов в год и входит в число лидеров отрасли на юге России.

Вместе с тем, технологический процесс включает операции ручного нанесения гелькоута, пропитки стекломата полиэфирной смолой, полимеризации и шлифовки. Эти стадии являются источниками неорганизованных и организованных выбросов стирола, ацетона и пыли. По данным предварительного анализа, валовые выбросы стирола на предприятии превышают 40 тонн в год, что в 4 раза выше порогового значения для отнесения объекта к III категории негативного воздействия на окружающую среду (НВОС) согласно Постановлению Правительства РФ № 2396 от 31.12.2020.

Кроме того, образование отходов композитных материалов (обрезь, брак) достигает 18 тонн в год. В настоящее время эти отходы вывозятся на полигоны твёрдых коммунальных отходов (ТКО) без переработки, что противоречит принципам циркулярной экономики и приводит к нерациональному использованию земельных ресурсов. Плата за размещение отходов и выбросы без очистки составляет около 190 тыс. руб. в год, однако с учётом начисляемых штрафов за превышение ПДК (до 250 тыс. руб. на основании ст. 8.1 КоАП РФ) экономическая нагрузка на предприятие возрастает.

Таким образом, актуальность темы определяется необходимостью снижения экологического следа производства композитных бассейнов, соблюдения природоохранного законодательства и создания безопасных условий труда для работников. Разработка и внедрение комплекса мероприятий по очистке выбросов и обращению с отходами является не только экологической, но и экономической необходимостью для группы компаний «Исток-Полиэстр».

Вопросы экологической безопасности производства полимерных композитов освещены в работах российских учёных: Абинякина И.И., Трофимова А.Н. («Экологическая безопасность производства полимерных композитов», 2020), Колесникова В.И., Каргина Ю.Н. («Стеклопластики: технология и переработка отходов», 2019). Зарубежные исследования посвящены снижению эмиссии стирола путём использования бесстирольных смол и фотокаталитической очистки. Однако существующие научные работы носят общий характер и не учитывают специфику малых и средних предприятий по производству бассейнов с ручными методами формовки.

Практические рекомендации по адсорбции и утилизации отходов композитов часто ориентированы на крупные заводы и не адаптированы к экономическим реалиям предприятий III категории НВОС. Данная работа восполняет этот пробел, предлагая конкретные технические решения с расчётом их окупаемости для конкретного предприятия.

Объектом исследования данной выпускной квалификационной работы является общество с ограниченной ответственностью «Золотой берег», входящее в группу компаний «Исток-Полиэстр», специализирующихся на производстве композитных чаш для бассейнов под брендом FRANMER. Предметом исследования являются процессы эмиссии стирола, испарения органических растворителей, пылеобразования и накопления отходов на стадиях пропитки, полимеризации, шлифовки и обрезки композитных изделий, а также методы снижения этих воздействий.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка предложений по снижению негативного воздействия ООО «Золотой берег» (группа компаний «Исток-Полиэстр») на окружающую среду.

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

- ~ дать общую характеристику группы компаний «Исток-Полиэстр», его хозяйственной деятельности, а также физико-географическую характеристику района исследования;
- ~ провести анализ технологического процесса изготовления композитных

чаш как источника выделения загрязняющих веществ (стирол, ацетон, пыль стеклопластика) и образования отходов производства;

- ~ оценить воздействие предприятия на окружающую природную среду;
- ~ разработать и обосновать предложения по снижению негативного воздействия группы компаний «Исток-Полиэстр» на окружающую среду.

Теоретической базой послужили положения федеральных законов № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха», санитарные правила (СанПиН 1.2.3685-21), методики расчёта выбросов для производств стеклопластиков (РД 153-34.0-02.310-00 с актуализацией 2018 г.), а также труды ведущих специалистов в области экологии полимерных производств. Методологическая основа включает расчётно-аналитический метод, сравнительный анализ, методы инженерной защиты атмосферы (адсорбция, фильтрация, фотокатализ), а также экономическую оценку эффективности природоохранных мероприятий.

1 Общая характеристика группы компаний «Исток-Полиэстр», как источника негативного воздействия на окружающую среду

1.1 Физико-географическая характеристика района размещения исследуемого предприятия

Территория расположения группы компаний «Исток-Полиэстр» (п. Октябрьский, Туапсинский м.о., Краснодарский край) обладает сложными и уникальными природными условиями, которые необходимо учитывать при оценке воздействия предприятия на окружающую среду и разработке природоохранных мероприятий.

Туапсинский район расположен в южной части Краснодарского края, в центральной части Черноморского побережья Кавказа. Посёлок Октябрьский находится в 30 км к северо-востоку от города Туапсе и в 20 км к юго-западу от города Хадыженска, на левом берегу реки Пшиш. Географические координаты центра посёлка: 44°19'20" с. ш. и 39°20'27" в. д.

Важной особенностью является местоположение на северном склоне Главного Кавказского хребта. Такое расположение принципиально отличает его от основной части Туапсинского района, которая находится на юго-западном склоне хребта, обращенном к Чёрному морю. Эта особенность во многом определяет локальные климатические и гидрологические условия.

Основными типами почв, формирующихся в условиях влажного субтропического климата и горного рельефа, являются горные лесные почвы и бурые лесные (бурозёмы). По данным энциклопедии «Гранат», типичными для региона являются подзолистые и серые лесные суглинки, а также перегнойно-карбонатные почвы (рендзины), развивающиеся на известняках и мергелях.

Почвенный покров территории обладает низкой устойчивостью к антропогенному воздействию и характеризуется:

- ~ малой мощностью профиля;
- ~ высокой эрозионной опасностью, что подтверждается данными о том, что 84% сельскохозяйственных земель района подвержены эрозионным процессам;

~ кислой реакцией среды из-за выщелачивания оснований атмосферными осадками.

Территория обладает высоким природным разнообразием, находясь на стыке трёх флористических подпровинций: Новороссийско-Крымской, Колхидской и Эвкийской. В составе флоры насчитывается 105 видов древесных и кустарниковых пород, 7 видов лиан, 30 эндемиков и 54 реликтовых вида.

В пойменных лесах долины реки Пшиш произрастают дуб, бук восточный, граб кавказский, липа кавказская, ясень, ольха. В подлеске обычны лещина, боярышник, калина, азалия понтийская. Характерны лианы (плющ вечнозелёный, дикий виноград, ломонос), которые придают лесам субтропический облик.

Основные обитатели: кабан, косуля, бурый медведь, волк, лисица, шакал, куница, барсук, заяц-русак. Мелкие млекопитающие представлены белкой, лаской. Птицы: сойка, иволга, соловей, дятел, сова, филин, горлица, дрозд, синица. Пресмыкающиеся и земноводные: уж обыкновенный, гадюка (серая и кавказская), полоз, ящерица, тритон. Насекомые: многочисленны и разнообразны.

Климат района расположения предприятия формируется под влиянием нескольких ключевых факторов: географического положения на северном склоне Главного Кавказского хребта, близости незамерзающего Чёрного моря и активной циклонической деятельности. Эти условия создают уникальный климатический режим, который необходимо учитывать при оценке рассеивания загрязняющих веществ от предприятия и разработке природоохранных мероприятий.

Климат исследуемого района является переходным от умеренно-континентального к влажному субтропическому. При этом следует различать прибрежную зону Туапсе (южный склон хребта) и расположение посёлка Октябрьский на северном склоне, что вносит существенные различия в микроклиматические условия.

Согласно СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», территория

относится к IV климатическому району, подрайону ТУБ, который характеризуется умеренно-континентальным климатом. Здесь преобладают массы континентального воздуха умеренных широт. Приходящие извне воздушные массы атлантического, арктического и тропического происхождения обычно бывают уже в значительной степени трансформированными и вскоре окончательно перерождаются в континентальный воздух умеренных широт.

Главный Кавказский хребет служит климатической границей, отделяющей влажное и теплое черноморское побережье от относительно более сухого, холодного и континентального Закубанья. Хребет создает орографическую защиту от восточных континентальных ветров и от холодных вторжений с севера. Со стороны моря этот район открыт для западных влажных циклонов, а горы закрывают его от холодных воздушных масс с севера, что способствует поднятию влажного тёплого воздуха по склону и выпадению обильных осадков.

По данным многолетних наблюдений гидрометеорологической станции «Туапсе» (за период 1936-2020 гг. и полный период наблюдений с 1903 г.), среднегодовая температура воздуха составляет 13,8–13,9 °С. Важной особенностью является отсутствие устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0 °С: устойчивый морозный период в районе отсутствует, возможны лишь короткие морозные периоды продолжительностью несколько дней.

Самым холодным месяцем является январь (средняя температура +4,8°С), самым тёплым — август (+23,7°С). Следует отметить, что на северном склоне хребта, где расположен посёлок Октябрьский, средние температуры могут быть несколько ниже (ориентировочно на 1,5–2,0°С), чем в прибрежной зоне Туапсе.

Амплитуда колебания абсолютных температур воздуха составляет около 60°С (от -19,3°С до +41,4°С). Средняя суточная амплитуда температуры наиболее холодного месяца — 6,2°С, наиболее тёплого месяца — 9,2°С.

Продолжительность теплого периода (с температурой выше 0°С)

составляет 365 дней — положительные температуры в среднем сохраняются в течение всего года. Число дней со среднесуточной температурой выше 5°C — 306, выше 10°C — 234, выше 15°C — 162.

Первые заморозки отмечаются в среднем в третьей декаде ноября, последние — во второй декаде марта.

Среднегодовая температура поверхности почвы в районе изысканий составляет 16,1 °C, что на 2,3 °C выше среднегодовой температуры воздуха. Абсолютная максимальная температура поверхности почвы достигает 68,5 °C, абсолютная минимальная — минус 20 °C. Амплитуда колебаний абсолютных температур на поверхности почвы составляет 88,5 °C. Это важный фактор, влияющий на термический режим приземного слоя атмосферы и условия рассеивания выбросов.

Среднегодовая скорость ветра в районе составляет 4,1 м/с. Наибольшие среднемесячные скорости ветра наблюдаются в декабре–январе (5,6–5,7 м/с), наименьшие — в июне–июле (2,3–2,9 м/с).

Максимальная скорость ветра за период наблюдений достигала 54 м/с (14 января 1971 г.). Средняя скорость ветра, повторяемость превышения которой по средним многолетним данным составляет 5 %, — 8,5 м/с.

Ветровой режим района определяется распределением атмосферного давления в различные сезоны года. Зимой преобладает перенос континентального полярного воздуха с ветрами северных направлений; летом усиливается влияние Азорского максимума, вызывающего западные, юго-западные и южные ветры.

В летний период на ветровой режим большое влияние оказывает море, формирующее в прибрежной зоне бризовую циркуляцию: днем ветры дуют с водной поверхности на прогретый берег, ночью — с берега. Наибольшей повторяемостью бризы характеризуются в июле и августе.

Штилевые условия. Во все сезоны наблюдаются периоды полного безветрия. В апреле и мае повторяемость штилей максимальна и достигает 2,2 %. С июня по август число штилей снижается за счет усиления бризовой

циркуляции.

Слабые ветры. Ветры со скоростью 1–5 м/с наблюдаются в течение всего года, их повторяемость с мая по сентябрь максимальна и превышает 90 % (в июле — 96,51 %). Годовая повторяемость слабых ветров составляет 85,68 %.

Сильные ветры. Наибольшей повторяемостью характеризуются сильные ветры юго-восточного направления. Преобладающее направление сильных ветров — юго-восточное. Зимой 25 % ветров имеют скорость выше 15 м/с.

Относительная влажность не понижается даже летом и составляет в июле–августе 69–72 %. Зимой влажность повышается до 71–88 %. Абсолютная минимальная зафиксированная влажность — 6 % (декабрь 1963 г.). Парциальное давление водяного пара в среднем за год составляет 12,5 гПа.

Среднее годовое количество осадков составляет 1354–1428 мм. По другим данным, среднее количество осадков за год на территории участка изысканий составляет 1419 мм. Исследуемая территория расположена в зоне достаточного и избыточного увлажнения. От побережья к горам среднегодовое количество осадков увеличивается.

Наибольшее количество осадков выпадает в декабре (до 196 мм), наименьшее — в апреле–мае (67–83 мм).

Распределение осадков по сезонам:

~ зима (декабрь–февраль): 32,2 % годовой суммы (около 787 мм за период ноябрь–март);

~ весна (март–май): 20,3 %;

~ лето (июнь–август): 19,2 %;

~ осень (сентябрь–ноябрь): 28,3 %.

Зимние осадки отличаются обложным и затяжным характером, летние осадки носят преимущественно ливневой характер.

Наблюдённый суточный максимум осадков по ГМС Туапсе составляет 227 мм (11 июля 1949 г.). Максимальная интенсивность осадков за 10 минут (по наблюдениям 1964–2016 гг.) — 8,50 мм/мин. Летние ливни нередко сопровождаются грозами и могут вызывать резкий подъём уровня воды в реках

и водотоках. Примерно раз в 15 лет случаются катастрофические наводнения, обусловленные смерчевыми выбросами; последнее такое наводнение произошло в октябре 2010 года.

Снежный покров — крайне неустойчивое явление в районе. Устойчивый снежный покров отсутствует в 100 % зим на побережье. Среднее число дней со снежным покровом составляет 10. В холодное время года осадки выпадают как в виде дождя, так и в виде мокрого снега.

Средняя дата появления снежного покрова — 23 декабря, схода — 25 февраля. Наибольшая декадная высота снежного покрова из наблюдений — 28 см. Снег выпадает, но снежный покров не образуется, а снег обычно быстро тает.

Туманы возможны в любое время года, с максимумом в период с марта по май (весна). Среднее число дней в году с туманами — 5, наибольшее зафиксированное — 17. Туманы большей частью связаны с адвекцией влажного воздуха на относительно холодную поверхность.

Среднее число дней в году с грозами — 40, средняя продолжительность гроз — 166 часов. Грозы возможны в любое время года, но чаще бывают с мая по октябрь. Циклоническая деятельность и меридиональный обмен воздушных масс весной и в начале лета обуславливают заметное увеличение числа гроз и ливневых дождей в этот период.

Град наблюдается в течение всего года, но чаще — в период с октября по февраль. Среднее число дней в году с градом — 2, наибольшее — 9.

Повторяемость сплошной облачности в течение года составляет 43 %, среднегодовое количество общей облачности — 6,0 балла. Самый пасмурный месяц — декабрь, пасмурное состояние неба повторяется в 78% случаев. Продолжительность солнечного сияния в г. Туапсе составляет около 2330 часов в год.

Для района расположения предприятия характерны следующие опасные метеорологические явления:

Бора (норд-ост) — холодный северо-восточный ветер, возникающий в

холодный период года (с ноября по март). Скорость ветра при боре может достигать 40 м/с, а в порывах — до 54 м/с. Бора сопровождается ледяным дождём, снегопадом, гололёдом, а в порту — обмерзанием судов.

Ливневые дожди экстремальной интенсивности — летом осадки выпадают в виде быстропроходящих дождей большой интенсивности, которые носят разрушительный характер. При таких дождях резко поднимается уровень воды в реках, образуются водяные валы, возможны селевые потоки. Суточный максимум осадков — 227 мм (1949 г.).

Наводнения, обусловленные смерчевыми выбросами — происходят примерно раз в 15 лет.

Грозы — среднее число дней с грозами — 40 в год.

В соответствии с классификацией ГОСТ 16350-80 и схемой климатического районирования, район порта Туапсе относится к строительно-климатической зоне IVB, с тёплым влажным климатом, среднемесячной температурой января от 0° до 4°С, июля — от +20 до +25 °С и относительной влажностью 70% и более.

Согласно СНиП 2.05.02-85, район изысканий расположен в III дорожно-климатической зоне и относится к 1 зоне влажности.

Для района изысканий характерен типично горный климат с вертикальной поясностью — достаточно тёплый и влажный, с мягкой зимой и жарким летом.

Микроклиматические особенности посёлка Октябрьский. Расположение посёлка Октябрьский на левом берегу реки Пшиш на высоте около 266 м над уровнем моря накладывает отпечаток на локальные климатические условия. В отличие от прибрежной зоны Туапсе, здесь:

- ~ зимы относительно мягкие, но более прохладные (средняя температура января ориентировочно +2...+3 °С);

- ~ лето засушливое, с преобладанием ливневых осадков;

- ~ в связи с большим удалением от моря (около 30 км по прямой) бризовая циркуляция выражена слабее;

~ вероятны более частые температурные инверсии в осенне-зимний период из-за горного рельефа долины реки Пшиш, что может способствовать накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы (неблагоприятные условия рассеивания);

~ преобладают ветры в основном северо-восточного и юго-западного направлений.

Таким образом, район расположения предприятия представляет собой уникальный природный комплекс, обладающий высоким биоразнообразием и испытывающий значительную антропогенную нагрузку. Учитывая близость к ценным лесным экосистемам и наличие курортной зоны, минимизация воздействия выбросов становится критически важной. Полученные характеристики ландшафта и данные о преобладающем юго-восточном переносе воздушных масс были использованы при моделировании рассеивания загрязняющих веществ, представленном в главе 2.

1.2 Характеристика группы компаний «Исток-Полиэстр» и их производственного процесса

ООО «Золотой берег» действует с 19 декабря 2022 года, ОГРН 1222300067362 присвоен регистратором - Межрайонная инспекция Федеральной налоговой службы № 16 по Краснодарскому краю.

Руководитель организации: директор Багдасарян Марина Ншановна.

ООО «Золотой берег» входит в группу компаний «Исток-Полиэстр», основанную как общество с ограниченной ответственностью в 2002 году. На сегодняшний день группа компаний объединяет несколько юридических лиц, каждое из которых специализируется на одном направлении работы: производство композитных чаш для бассейнов, производство тротуарной плитки и строительных материалов, производство каркасных строений, розничные продажи и т.д.

Учредителем группы компаний «Исток-Полиэстр» является физическое

лицо – Калайджян Ардашес Беникович. Доля его в уставном капитале компаний – 100%.

Фактический расположения производства: 352818, Россия, Краснодарский край, Туапсинский район, п. Октябрьский, урочище «Весёлая Поляна». Общая площадь производственных помещений составляет примерно 1 500 м², включая (рисунок 1.1):

- ~ участок нанесения гелькоута;
- ~ участок выкладки стекломата и пропитки смолой (ручная формовка);
- ~ камерную сушку для полимеризации изделий (отапливаемое помещение с контролируемой температурой 25-30 °С);
- ~ участок шлифовки и финишной обработки;
- ~ складские помещения для хранения сырья (ёмкости со смолой, стиролом, ацетоном, стекломатериалами и готовой продукцией).



Рисунок 1.1 – Общий вид производственной базы компании «Исток-Полиэстр»

По данным бухгалтерской отчётности за 2025 год, численность персонала предприятия составляет 87 человек. Выручка предприятия по итогам 2025 года достигла 439 млн. рублей. Объём выпуска — около 1200 чаш в год при среднем весе одной чаши 350 кг (из них 280 кг композита).

В соответствии с Постановлением Правительства РФ № 2396 от

31.12.2020 «О критериях отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий», производственная площадка компании «Исток-Полиэстр» отнесена к III категории НВОС, так как валовый выброс стирола превышает 10 тонн в год.

Компания «Исток-Полиэстр» занимается строительством стационарных крытых бассейнов из композитных материалов под маркой FRANMER. Рассматриваемая компания достаточно молодая, находится на рынке с 2002 года. Но, несмотря на это, «Исток-Полиэстр» уже достигла определенных высот на рынке бассейнов.

«Исток-Полиэстр» (FRANMER) с самого начала выбрала непростой путь. Она стала первым российским производителем композитных бассейнов. 15 лет назад ее продукция впервые появилась на рынке – и с тех пор марка FRANMER лидирует по объёмам продаж в своей области. Но в одном предложении не расскажешь всю историю компании.

Положение лидера в своей области помогло компании достичь огромных успехов. Чтобы сэкономить деньги клиента на перевозке бассейнов, компания создала собственный автопарк спецприцепов с регулируемым клиренсом, благодаря которому их не пугает бездорожье. В результате покупатели FRANMER стали получать свои бассейны, не доплачивая за доставку негабаритного груза.

Другие компании пытались последовать примеру компании «Исток-Полиэстр». Они закупили спецприцепы в европейских странах, но их постигла неудача: произведённые для стран с нормальными дорогами, эти спецприцепы не выдержали поездок по российскому бездорожью. Поэтому клиентам других фирм во время доставки бассейна приходится доплачивать ГИБДД за сопровождение негабаритного груза.

На сегодняшний день, группа компаний «Исток-Полиэстр» выполняет весь комплекс работ по строительству «под ключ» стационарных бассейнов различной стоимости, размеров и форм, предназначенных для круглогодичного использования и отвечающих всем санитарным и строительным нормам.

Современный стационарный бассейн это сложное с инженерной точки зрения сооружение. Это относится как к строительной, так и к технологической его частям. Стоимость строительства бассейна складывается не только из строительно-монтажных и отделочных работ. Сюда входят все инженерные сети и оборудование. Именно поэтому для выполнения такого ответственного задания как строительство бассейна важно выбрать надежную компанию, которая обеспечит оптимальное соотношение, времени, цене, качеству работ и материалов.

Все работы, выполняемые компанией «Исток-Полиэстр» выполняются в соответствии со СНиП 2.08.02-89 «Строительство бассейнов». На оборудование, устанавливаемое в бассейн также имеются все необходимые сертификаты.

Увеличение объемов реализации продукции населению является одной из важнейших целей анализируемого предприятия.

Основные виды деятельности:

- ~ производство прочих пластмассовых изделий;
- ~ строительство прочих инженерных сооружений, не включенных в другие группировки;
- ~ производство бетоноконструкций для применения в строительстве;
- ~ производство пиломатериалов, кроме профилированных, толщиной более 6 мм; производство недропитанных железнодорожных и трамвайных шпал из древесины;
- ~ производство прочих изделий из пластмасс, не включенных в другие группировки.

На сегодняшний день на предприятии отсутствует централизованная система очистки вентиляционных выбросов от газообразных загрязнителей (стирол, ацетон). На участке шлифовки отсутствует система аспирации, что приводит к оседанию мелкодисперсной пыли стеклопластика на стенах, оборудовании и попаданию её в воздух рабочей зоны.

Основными природоохранными мероприятиями, реализуемыми в

настоящее время, являются:

- ~ по обращению с отходами: заключены договоры на вывоз всех образующихся отходов (обрезь стеклопластика, загрязнённая тара, отработанный ацетон) на полигон твёрдых коммунальных отходов (ТКО) ООО «Эко-Сервис». Собственная переработка отходов композита не осуществляется;
- ~ по выбросам: периодический контроль концентрации загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны по договору с аккредитованной лабораторией;
- ~ по охране водных объектов: хозяйственно-бытовые сточные воды направляются в септик с последующим вывозом ассенизационной машиной; ливневые стоки с твёрдого покрытия территории не загрязнены специфическими веществами.

2 Анализ и оценка технологического процесса производства бассейнов компанией «Исток-Полиэстр» и оценка его воздействия на окружающую среду

2.1 Анализ технологического процесса производства композитных бассейнов и применяемых материалов

Стеклопластик представляет собой полимерный композиционный материал (ПКМ), получаемый путём сочетания двух разнородных компонентов: армирующего наполнителя и полимерной матрицы [23, с. 108]. Под композиционным материалом понимается многокомпонентный искусственно созданный материал, состоящий из основы (матрицы) и армирующих элементов (наполнителей), причём свойства такого сочетания не сводятся к простой сумме свойств входящих компонентов, а проявляются как качественно новые характеристики, недостижимые у каждого из составляющих в отдельности. Основная идея создания композитов заключается в том, чтобы получить материал с комплексом свойств, который отсутствует у исходных компонентов [18, с. 45].

В основе теории композиционных материалов лежат следующие фундаментальные положения. Полимерная матрица выполняет несколько функций: она связывает армирующие элементы в единый монолит, передаёт и распределяет нагрузку между волокнами, защищает наполнитель от воздействия агрессивной среды и определяет такие эксплуатационные характеристики, как теплостойкость, химическая стойкость и диэлектрические свойства. Армирующий наполнитель, в свою очередь, воспринимает основную механическую нагрузку, обеспечивая композиту высокие прочность, жёсткость и трещиностойкость [10, с. 37].

Классификация полимерных композиционных материалов. В теоретическом материаловедении ПКМ классифицируют по нескольким признакам [7, с. 81]. По природе матрицы различают термореактивные и термопластичные композиты. По типу армирующего наполнителя выделяют волокнистые (армированные волокнами — стеклянными, углеродными,

базальтовыми, органическими), дисперсно-наполненные (с порошкообразными частицами различной природы) и гибридные (сочетающие несколько типов наполнителей) композиты. По геометрии армирующих элементов выделяют однонаправленные (с ориентацией волокон в одном направлении) и ортотропные (с перекрёстной ориентацией) ПКМ [34, с. 59].

Полимерные связующие для композитов подразделяются на термореактивные (ненасыщенные полиэфирные, эпоксидные, фенолформальдегидные, винилэфирные смолы), переходящие при отверждении в неплавкое и нерастворимое состояние, и термопластичные (полиамиды, полипропилен, полиэфиркетоны), которые при нагреве размягчаются, а при охлаждении вновь затвердевают. Для производства композитных бассейнов применяются в основном ненасыщенные полиэфирные смолы и отчасти винилэфирные (для получения повышенной химической стойкости) [8, с. 51].

Ненасыщенные полиэфирные смолы являются наиболее распространённым типом связующих для производства стеклопластиков общего назначения. Согласно ГОСТ 27952-88 и данным химической технологии полимеров, ненасыщенные полиэфирные смолы представляют собой растворы в мономерах продуктов поликонденсации многоатомных спиртов (гликолей) с малеиновым ангидридом и модифицирующими дикарбоновыми кислотами (фталевой, адипиновой и др.) [19, с. 55].

Термин «ненасыщенные» означает наличие в макромолекуле полиэфира кратных (двойных) связей, способных к реакции сшивки при добавлении инициаторов радикальной полимеризации. Наиболее важная характеристика этой группы смол — способность под действием инициаторов (перекисей, гидроперекисей) переходить из жидкого вязкого состояния в твёрдое неплавкое состояние, то есть отверждаться с образованием пространственной сетчатой структуры [29, с. 27].

Промышленность выпускает ненасыщенные полиэфирные смолы нескольких марок. Смолы общего назначения типа ПН-1 (полидиэтиленгликольмалеинатфталат в стироле) и её импортные аналоги

(Norpol 420, Agopol и др.) характеризуются содержанием стирола 30–42%, условной вязкостью 16–31 с по ВЗ-246 и временем желатинизации при 25°C от 5 до 28 минут (с инициатором). Как указано в технической документации, преимуществами этих смол являются отличная адгезия к стеклянным наполнителям, высокая прочность отверждённых изделий, устойчивость к влаге, химической среде и умеренным температурам, а также технологичность — удобство дозирования и регулирования времени отверждения [38, с. 152].

Связующее на основе полиэфирной смолы включает следующие обязательные компоненты [11, с. 107]:

- ~ смола (основа) — определяет основные физико-механические и химические свойства композита;

- ~ мономер (стирол) — выполняет двойную роль: служит реакционноспособным растворителем для снижения вязкости смолы и участвует в процессе отверждения в качестве сомономера (сшивающего агента). Ненасыщенные полиэфирные смолы выпускаются в виде растворов в стироле (30–50%), причём стирол одновременно является растворителем и сомономером;

- ~ инициатор (перекись метилэтилкетона, гидроперекись изопропилбензола и др.) — вещество, которое при нагревании или в присутствии ускорителя распадается на свободные радикалы, инициирующие полимеризацию;

- ~ ускоритель (нафтенат кобальта, октоат кобальта и др.) — соединение, катализирующее распад инициатора на радикалы при комнатной температуре, позволяя проводить отверждение без нагрева (холодное отверждение).

Для придания связующему специальных свойств в его состав могут вводиться различные добавки [15, с. 135]:

- ~ тиксотропные добавки (аэросил) — придают смоле способность не стекать с вертикальных поверхностей в процессе формования;

- ~ ингибиторы полимеризации — вводятся для увеличения срока хранения и стабильности смолы, замедления преждевременной полимеризации;

- ~ пигменты и красители — для придания заданной окраски готовому

изделию (особенно важны для декоративного слоя — гелькоута);

~ наполнители (мел, каолин, тальк, пылевидный кварц) — снижают стоимость композита, уменьшают усадку при отверждении и повышают жёсткость, но при избыточном содержании ухудшают прочностные характеристики.

Армирующие стеклянные наполнители изготавливаются из расплава силикатного стекла (главным образом алюмоборосиликатного состава) с последующим формованием волокон диаметром 5–20 мкм. В производстве композитных бассейнов используются следующие виды стекломатериалов [22, с. 19]:

~ стекломат (стекловолокнистый мат, Chopped Strand Mat) — материал из хаотически ориентированных рубленых волокон длиной 25–50 мм, скреплённых связующим. Стеклومات плотностью 300–600 г/м² (наиболее распространён 450 г/м²) обеспечивает изотропные (одинаковые по всем направлениям) механические свойства;

~ стеклоткань полотняного или саржевого переплетения — обеспечивает более высокие прочностные характеристики в направлениях расположения нитей основы и утка;

~ ровинг (непрерывный жгут стекловолокон) — используется для изготовления формованных деталей методом намотки или напыления;

~ стекловолокнистый рубленый ровинг — применяется в методе напыления, где волокно подаётся в поток распыляемого связующего непосредственно на поверхность матрицы.

Гелькоут (gel coat) [30, с. 28] представляет собой специализированный декоративно-защитный слой, наносимый на поверхность матрицы перед выкладкой армирующих наполнителей. Как отмечено в технологической литературе по контактному формованию, гелькоут формирует наружную поверхность готового изделия, предохраняя стеклопластик от пагубного воздействия ультрафиолетового излучения, химически активных сред и воды. Гелькоуты имеют широкую палитру цветов, благодаря чему изделия могут

обладать практически любым оттенком без необходимости последующей окраски [35, с. 97].

По химическому составу различают ортофталевые и изофталевые гелькоуты. Последние обладают повышенной стойкостью к гидролизу и химическим реагентам, что особенно важно для бассейнов, где вода содержит хлор, бром или другие дезинфицирующие средства. Отверждение гелькоута осуществляется по тем же механизмам, что и отверждение полиэфирной смолы — радикальной сополимеризацией ненасыщенных полиэфиров с мономером (стиролом) в присутствии инициатора и ускорителя. Содержание стирола в гелькоутах обычно составляет 35–45% [10, с. 37].

В процессе производства для очистки инструмента (валиков, кистей, краскопультов) от неотверждённой смолы применяются растворители, в основном ацетон. В последние годы разработаны экологичные смывки на основе сложных эфиров или углеводов с повышенной температурой кипения и пониженной летучестью, которые призваны заменить ацетон для снижения выбросов летучих органических соединений [39, с. 88].

Метод контактного (ручного) формования является основным способом изготовления крупногабаритных стеклопластиковых изделий единичного и мелкосерийного производства, в том числе чаш бассейнов. Данная технология нашла широкое применение благодаря незначительным капиталовложениям, универсальности и возможности создавать слоистые конструкции с закладными деталями [31, с. 169].

Процесс начинается с тщательной подготовки матрицы (оснастки), которая представляет собой форму, повторяющую внешнюю геометрию будущего изделия. Матрицу полируют и наносят разделительный слой — специальный воск или полупостоянный разделитель для облегчения извлечения отверждённой чаши и предотвращения прилипания полимерного композита к поверхности формы [12, с. 134].

На подготовленную матрицу наносится защитно-декоративный слой — гелькоут. В зависимости от масштаба производства и требуемого качества

поверхности гелькоут наносится вручную кистью или при помощи пневматического распылителя для гелькоута. Нанесение осуществляется при контролируемых условиях: температура воздуха в помещении должна быть в пределах 18–25 °С, относительная влажность — менее 80%, все материалы (матрица, инструменты, гелькоут) должны иметь одинаковую температуру [20, с. 139]. Толщина слоя гелькоута обычно составляет 0,4–0,8 мм.

После высыхания гелькоута (достижения стадии липкости, отлипа) производят формовку стеклопластикового армирующего слоя. В матрицу укладывается предварительно раскроенный стекломат или стеклоткань [21, с. 18]. Затем при помощи мягкого валика или кисти стекломат пропитывается связующим — смесью полиэфирной смолы, инициатора, ускорителя и, при необходимости, тиксотропной добавки. Согласно технологическим описаниям, процесс повторяется несколько раз (обычно 4–6 слоёв) для достижения заданной толщины стенки изделия. Каждый слой тщательно прикатывается жестким валиком для удаления пузырьков воздуха и равномерного распределения связующего [26, с. 152].

Отверждение связующего происходит при комнатной температуре в результате радикальной сополимеризации. Время желатинизации (перехода из жидкого состояния в гель) для типовой ненасыщенной полиэфирной смолы при 25°C с двухкомпонентной системой (инициатор + ускоритель) составляет 5–28 минут, полное отверждение занимает от 4 до 24 часов в зависимости от температуры, состава связующего и толщины ламината. Оптимальная температура отверждения — 20–30°C [33, с. 106].

После полного отверждения готовое изделие извлекается из матрицы и подвергается механической обработке: обрезке технологических припусков (облоя), шлифовке поверхности для удаления острых кромок и придания окончательной геометрии, высверливанию отверстий под оборудование. При необходимости выполняется финишная полировка [14, с. 122].

Промышленность выпускает несколько типов инициаторов для отверждения ненасыщенных полиэфирных смол. Наиболее распространёнными

являются перекись метилэтилкетона (МЭК-перекись, ТУ 2492-080-00205311-2015) и гидроперекись изопропилбензола (гипериз, ТУ 38.103646-87). В качестве ускорителей чаще всего применяют октоат кобальта или нафтенат кобальта. Соотношения компонентов подбираются экспериментально для обеспечения требуемого времени отверждения и гелеобразования [38, с. 55].

Тиксотропные свойства — способность материала не стекать с вертикальных поверхностей в жидком состоянии и восстанавливать текучесть при механическом воздействии — достигаются введением высокодисперсного диоксида кремния (аэросила). Это критически важно при формировании глубоких чаш бассейнов и вертикальных стенок [16, с. 51].

Для защиты гелкоутового слоя от деструкции под действием солнечного излучения в него вводят УФ-стабилизаторы (поглотители УФ-излучения, например, бензотриазолы) и светостабилизаторы (замещённые амины). Это особенно важно для бассейнов, эксплуатируемых на открытом воздухе.

Основным видом связующего вещества на предприятии является ненасыщенная полиэфирная смола (марок ПН-1 по ГОСТ 27952-88 или импортных аналогов). Смола поставляется в виде вязкой жидкости от светло- до тёмно-жёлтого цвета (таблица 2.1).

Таблица 2.1 — Технические характеристики ненасыщенных полиэфирных смол, применяемых в производстве композитных бассейнов

Показатель	Значение для марки ПН-1 (ГОСТ 27952-88)	Примечание
Массовая доля стирола, %	30–33	По ГОСТ 13549
Плотность при 23 °С, г/см ³	1,137–1,148	По ГОСТ 18329
Условная вязкость по ВЗ-246, с	16–31	По ГОСТ 8420
Время желатинизации при 25 °С, мин	5–28	С двухкомпонентной системой
Внешний вид	Прозрачная жидкость от светло- до тёмно-жёлтого цвета	Без посторонних включений
Кислотное число, мг КОН/г, не более	22	—

По данным технической документации на современные смолы, содержание стирола может варьироваться от 30 до 50%. На предприятии

используется примерно 336 тонн смолы в год. Это количество умножается на среднюю долю стирола 42% для получения оценки потенциального выброса.

Гелькоут представляет собой первый (лицевой) слой композитного изделия, наносимый на матрицу. Он выполняет декоративную и защитную функции: обеспечивает цвет, гляцевую поверхность, стойкость к ультрафиолетовому излучению и защиту от химического воздействия воды и реагентов.

На предприятии используются качественные изофталевые гелькоуты, которые отличаются более высокой коррозионной стойкостью и стойкостью к растворителям по сравнению с ортофталевыми. Гелькоут содержит от 35 до 45% стирола. Примерный годовой расход гелькоута составляет 360 кг (из расчёта 0,3 кг на одну чашу).

В качестве армирующего наполнителя применяется стекломат плотностью 450 г/м² (иногда используется рубленый ровинг для напыления). Стекловолокно не является источником химического загрязнения атмосферы, но при механической обработке (шлифовке, резке) образует высокодисперсную пыль. Пыль стеклопластика обладает фиброгенным действием и при длительном воздействии может вызывать профессиональные заболевания лёгких. Масса используемого стекломата в год примерно равна массе смолы — 336 тонн.

Растворитель — ацетон используется для очистки инструмента (валиков, кистей, краскопультов) от остатков неотверждённой смолы. Годовой расход составляет около 150 литров ($\approx$ 118 кг). Относится к 4-му классу опасности.

Разделительный воск: наносится на матрицу для предотвращения прилипания композитной чаши.

Производство композитных бассейнов на предприятии «Исток-Полиэстр» осуществляется по технологии ручной формовки (контактного формования) на матрицах.

Технологическая схема представлена на рисунке 1.1 (в приложении). Процесс включает следующие стадии.

Стадия 1. Разработка и подготовка матрицы. Сначала создаётся мастер-модель будущего бассейна. Затем на основе этой модели изготавливается матрица — форма, которая в точности повторяет геометрию будущей чаши. На внутреннюю поверхность матрицы равномерно наносится разделительный воск, который обеспечивает лёгкое извлечение готового изделия.

Стадия 2. Нанесение гелькоута. С помощью пневматического краскопульта на внутреннюю поверхность матрицы наносится гелькоут. Толщина слоя составляет 0,5–0,8 мм. Нанесение осуществляется вручную, продолжительность — 20–30 минут на одну чашу в зависимости от её размера.

Экологическая характеристика стадии: Именно в момент нанесения гелькоута происходит значительное выделение паров стирола в атмосферу цеха.

Источником эмиссии является свободная поверхность жидкого гелькоута. Потери стирола на этой стадии могут достигать 25-30% от его исходного содержания.

Стадия 3. Выкладка стекломата и пропитка смолой. На слой гелькоута вручную укладываются листы стекломата. После укладки каждого слоя он пропитывается полиэфирной смолой.

Работник кистью или валиком наносит смолу на стекломат и тщательно разглаживает, добиваясь равномерного распределения связующего и удаления пузырьков воздуха. Процесс повторяется 4–6 раз для достижения необходимой толщины стенки чаши (5–10 мм армирующего слоя).

Экологическая характеристика стадии: Является основным источником выбросов стирола. Процесс открыт, происходит как испарение стирола со свободной поверхности смолы в ёмкости и нанесённого слоя, так и выделение при перемешивании.

Стадия 4. Полимеризация (отверждение). Сформованное изделие оставляют в матрице для отверждения при комнатной температуре (25–30 °C) в течение 6–8 часов. В этот период происходит основная химическая реакция сополимеризации.

Экологическая характеристика стадии: Несмотря на то, что основная масса стирола вступает в реакцию, примерно 5% от исходного содержания стирола улетучивается в процессе отверждения в атмосферу цеха.

Стадия 5. Извлечение из матрицы и механическая обработка. Готовое изделие извлекается из матрицы, после чего производится обрезка технологических припусков и шлифовка поверхности для придания гладкости и устранения мелких дефектов.

Экологическая характеристика стадии: Шлифовка является мощным источником образования мелкодисперсной пыли стеклопластика. Размер частиц может составлять от 10 до 100 мкм. Часть пыли оседает на оборудовании, часть (до 60%) переходит во взвешенное состояние и поступает в воздух рабочей зоны.

Для количественной оценки образования загрязняющих веществ представим упрощённый материальный баланс производства 1 тонны композитного изделия (таблица 2.2).

Таблица 2.2 — Материальный баланс производства 1 тонны композитного изделия

Приход	кг	Расход	кг
Полиэфирная смола (42% стирола)	500	Готовая чаша из композита	1000
Стекломат	500	Эмиссия стирола в атмосферу	65
Итого:	1000	Итого:	1065

Как видно из баланса, на каждую тонну готовой продукции в атмосферу выделяется около 65 кг стирола. Для крупного производства с годовым объёмом выпуска 336 тонн композита это дает валовой выброс примерно 21,8 т/год.

Основное технологическое оборудование предприятия включает:

- ~ 4–5 крупногабаритных матриц для чаш разных размеров (от 4 до 12 м);
- ~ 3–4 пневматических краскопульта для нанесения гелькоута и смолы;
- ~ камерную сушку (отапливаемое помещение) для полимеризации;
- ~ 5–6 ручных шлифовальных машин абразивного типа.

2.2 Выявление источников и видов негативного воздействия на окружающую среду

На основании анализа технологического процесса и применяемых материалов можно сделать вывод, что производственная деятельность компании «Исток-Полиэстр» оказывает негативное воздействие на следующие компоненты окружающей среды:

- ~ атмосферный воздух (выбросы загрязняющих веществ);
- ~ земельные ресурсы и недра (размещение отходов производства);
- ~ водные объекты (опосредованно, через ливневые стоки с территории).

Источниками выделения загрязняющих веществ в атмосферу на предприятии являются:

Источник №1 — Участок нанесения гелькоута и пропитки смолой. Характер выделения: организованный (при наличии местного отсоса) и неорганизованный.

Загрязняющие вещества:

1. Стирол (C_8H_8) — основной загрязнитель. Пары выделяются со свободной поверхности гелькоута и смолы. Количество выделяемого стирола зависит от площади открытой поверхности, температуры воздуха и интенсивности вентиляции.

2. Ацетон (C_3H_6O) — выделяется при промывке инструмента в открытых ёмкостях. Годовой выброс ориентировочно равен годовому расходу (150 кг).

Режим работы: непрерывный, 1 смена (8 часов), 250 рабочих дней в году.

Источник №2 — Камера полимеризации. Характер выделения: неорганизованный (выделение через неплотности дверных проёмов, т.к. камеры открытого типа).

Загрязняющие вещества: стирол, выделяющийся в процессе отверждения из толщи композитного изделия.

Режим работы: периодический (6–8 часов на каждое изделие, с перерывами на загрузку-выгрузку). За год — около 250 технологических

циклов.

Источник №3 — Участок шлифовки и механической обработки. Характер выделения: неорганизованный (система аспирации отсутствует).

Загрязняющие вещества: пыль стеклопластика (пыль стеклокомпозита) — III класс опасности. ПДК в воздухе рабочей зоны — 5 мг/м³, для атмосферного воздуха населённых мест — 0,5 мг/м³.

Режим работы: периодический, примерно 2–3 часа на каждую чашу.

Источник №4 — Склад сырья (ёмкости со смолой). Характер выделения: неорганизованный (дыхательные клапаны ёмкостей, неплотности).

Загрязняющие вещества: стирол — «дыхание» бочек при перепадах температуры. Режим работы: постоянно (круглосуточно).

В таблице 2.3 приведены основные гигиенические нормативы для веществ, выделяющихся при производстве.

Таблица 2.3 — Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ

Вещество	ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Класс опасности	ПДК м.р. в атмосферном воздухе населённых мест, мг/м ³
Стирол	5,0	III	0,003
Ацетон	200	IV	0,35
Пыль стеклопластика	5,0	III	0,5

Как показывают данные предприятия (лабораторные замеры), в настоящее время концентрация стирола в зоне дыхания оператора достигает 12 мг/м³, что превышает ПДК рабочей зоны в 2,4 раза. Это является прямым нарушением санитарного законодательства и требует немедленного принятия мер.

Анализ технологического процесса и состава применяемых материалов позволяет выделить следующие виды образующихся отходов (таблица 2.4).

Класс опасности отходов стеклопластика — IV (малоопасные), однако их высокая стойкость к разложению (период разложения в природе может достигать сотен лет) создаёт серьёзную экологическую проблему при

захоронении. Организация переработки является приоритетной задачей.

Таблица 2.4 — Характеристика отходов, образующихся на предприятии

Наименование отхода	Класс опасности	Годовое количество, т/год	Существующий способ обращения
Отходы стеклопластика (обрезь, брак)	IV	18	Размещение на полигоне ТКО
Тара полимерная загрязнённая (бочки из-под смолы и гелькоута)	IV	2,5	Размещение на полигоне ТКО
Ацетон отработанный	IV	0,15	Передача лицензированной организации

Далее будет приведён детальный расчёт валовых выбросов и платы за НВОС, но уже на основе качественного анализа можно сделать следующие предварительные выводы.

По атмосферному воздуху: Стирол составляет более 90% в структуре выбросов. При отсутствии очистки предприятие наносит наибольший ущерб именно этому компоненту природной среды.

По отходам: Отходы композита практически не разлагаются в природных условиях и занимают полезную площадь на полигонах ТКО. Их захоронение приводит к отчуждению земельных ресурсов.

По водным объектам: Прямого ущерба нет, однако существует риск загрязнения ливневых стоков при неорганизованном хранении сырья (разлив смолы).

2.3 Оценка негативного воздействия предприятия на окружающую среду

Оценка негативного воздействия на окружающую среду (НВОС) является обязательным этапом для разработки природоохранных мероприятий. В соответствии с Федеральным законом № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и Приказом Минприроды России № 871 от 30.09.2021 «Об утверждении методов расчёта рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе», оценка производится по следующим направлениям:

~ воздействие на атмосферный воздух – расчёт валовых выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) и сравнение с предельно допустимыми концентрациями (ПДК);

~ воздействие на водные объекты – анализ сбросов сточных вод;

~ воздействие на земельные ресурсы и недра – учёт образования и размещения отходов производства.

Для расчёта выбросов на предприятии по производству стеклопластиков используется Методика расчёта выбросов вредных веществ при производстве изделий из полиэфирных стеклопластиков (утверждена НИИ Атмосфера, 2018 г.), а также отраслевые методики.

Проведем расчёт выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Для этого используем исходные данные для расчёта (годовые показатели). Для расчётов использованы фактические данные предприятия за 2025 год (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Объемы выбросов в атмосферу от предприятия

Показатель	Значение	Примечание
Расход полиэфирной смолы, т/год	336	Содержание стирола 42%
Расход гелькоута, т/год	0,36	Содержание стирола 38%
Расход ацетона, т/год	0,118	Для промывки инструмента
Расход стекломата, т/год	336	Армирующий наполнитель
Годовой объём выпуска чаш, шт.	1200	Средняя масса чаши 350 кг
Количество рабочих дней в году	250	Односменная работа (8 ч)

Расчет выбросов стирола. Стирол поступает в атмосферу на следующих стадиях:

1. При нанесении и пропитке – выделение из открытой поверхности смолы и гелькоута (коэффициент выделения $K_1 = 0,25-0,30$).
2. При полимеризации – выделение остаточного стирола из отверждаемой матрицы ($K_2 = 0,05$ от массы оставшегося стирола).
3. При хранении – «дыхание» ёмкостей (учитывается дополнительно, но в данной работе можно пренебречь, так как оно незначительно по

сравнению с технологическими выбросами).

Формула расчёта (1):

$$M_1 = G_{\text{см}} \cdot C_{\text{ст,см}} \cdot K_1 + G_{\text{ГК}} \cdot C_{\text{ст,ГК}} \cdot K_{1,\text{ГК}} \quad (1)$$

где: $G_{\text{см}} = 336000$ кг/год – расход смолы;

$C_{\text{ст,см}} = 0,42$ – массовая доля стирола в смоле;

$K_1 = 0,25$ – коэффициент выделения стирола при ручном нанесении и пропитке;

$G_{\text{ГК}} = 360$ кг/год – расход гелькоута;

$C_{\text{ст,ГК}} = 0,38$;

$K_{1,\text{ГК}} = 0,30$ – для напыления гелькоута (выделение выше из-за аэрозолирования).

$$M_1 = 336000 \cdot 0,42 \cdot 0,25 + 360 \cdot 0,38 \cdot 0,30$$

$$M_1 = 35280 + 41,04 = 35321,04 \text{ кг/год} \approx 35,32 \text{ т/год}$$

При полимеризации выделяется 5% от массы стирола, оставшегося в материале после нанесения.

Масса стирола в смоле после нанесения (до полимеризации):

$$G_{\text{ст,см,ост}} = G_{\text{см}} \cdot C_{\text{ст,см}} \cdot (1 - K_1) = 336000 \cdot 0,42 \cdot 0,75 = 105840 \text{ кг}$$

Масса стирола в гелькоуте после нанесения:

$$G_{\text{ст,ГК,ост}} = 360 \cdot 0,38 \cdot (1 - 0,30) = 360 \cdot 0,38 \cdot 0,70 = 95,76 \text{ кг}$$

Выброс при полимеризации:

$$M_2 = (105840 + 95,76) \cdot 0,05 = 105935,76 \cdot 0,05 = 5296,79 \text{ кг/год} \approx 5,30 \text{ т/год}$$

Суммарный валовый выброс стирола (без очистки):

$$M_{\text{ст,вал}} = M_1 + M_2 = 35,32 + 5,30 = 40,62 \text{ т/год}$$

Данное значение в 4,06 раза превышает порог III категории НВОС (10 т/год) и уже приближается к порогу II категории (50 т/год для стирола). Предприятие обязано разработать проект предельно допустимых выбросов (ПДВ) и установить очистное оборудование.

Расчет выбросов ацетона. Ацетон используется как растворитель для промывки инструмента после работы. При промывке в открытой ёмкости или

таре ацетон полностью испаряется. Годовой расход – 150 л. Плотность ацетона – 0,791 г/см³ (при 20°C).

$$G_{\text{ацетон}} = 150 \cdot 0,791 = 118,65 \text{ кг/год} \approx 0,119 \text{ т/год}$$

Выброс ацетона:

$M_{\text{ац}} = 0,119 \text{ т/год}$ (IV класс опасности, ПДК м.р. = 0,35 мг/м³). Хотя эта масса мала по сравнению со стиролом, ацетон вносит вклад в суммарные выбросы летучих органических соединений (ЛОС).

Расчет выбросов пыли стеклопластика. Источник – операция шлифовки и обрезки готовых чаш. Пыль образуется при удалении верхнего слоя гелькоута и части композитного слоя.

Исходные данные:

~ масса готовой чаши (средняя) – 350 кг, из них гелькоута – 0,3 кг, армирующего слоя – 349,7 кг;

~ годовой выпуск – 1200 чаш → общая масса перерабатываемых изделий = $1200 \cdot 350 = 420\,000$ кг = 420 т/год;

~ при шлифовке удаляется примерно 2% массы изделия (удаление неровностей и глянца). На самом деле шлифуется только лицевая поверхность, но для упрощения принимаем 2% от массы всей чаши (верхний слой);

~ образуется пыли: $420 \cdot 0,02 = 8,4$ т/год.

Однако более точный расчёт: из практики известно, что при шлифовке 1 м² поверхности удаляется около 50–100 г материала. Площадь поверхности одной чаши (типовая 6×3 м) – примерно 50 м². Тогда пыль на одну чашу: $50 \cdot 0,075 \text{ кг} = 3,75$ кг.

На 1200 чаш: $1200 \cdot 3,75 = 4500$ кг = 4,5 т/год. Расхождение связано с тем, что удаляется не вся поверхность чаши, а только видимые части. Поэтому принимаем средневзвешенное значение 6,0 т/год.

Важно: пыль стеклопластика состоит из частиц смолы и стекловолокна. До 60% этой пыли – частицы размером менее 10 мкм (респираторная фракция), которые не осаждаются и могут долго находиться в воздухе.

Принимаем для расчётов: $M_{\text{пыль}} = 6,0 \text{ т/год}$ (без учёта улавливания). Класс

опасности – III (по аналогии с пылью стекловолокна, ПДК в воздухе рабочей зоны – 5 мг/м³).

Сводные результаты расчета валовых выбросов представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Валовые выбросы ЗВ в атмосферу от производства компании «Исток-Полиэстр» (существующее положение)

Наименование ЗВ	Код	Класс опасности	Выброс, т/год	ПДК м.р., мг/м ³
Стирол	0620	II	40,62	0,04
Ацетон	1401	IV	0,119	0,35
Пыль стеклопластика	2908*	III	6,0	0,5**

*Код по перечню ЗВ – ориентировочный, т.к. пыль стеклопластика не имеет точного кода в классификаторе, часто относят к «пыли неорганической с содержанием SiO₂ 20–70%».

**ПДК м.р. для пыли абразивной, близкой по составу.

Для оценки соблюдения гигиенических нормативов на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и в жилой застройке выполнен расчёт рассеивания по программе «Эколог» (версия 4.50) с использованием коэффициентов, учитывающих метеорологические условия и рельеф местности.

Исходные параметры для расчёта:

- ~ высота источника выброса (усреднённая вентиляционная труба) – 6 м (цех имеет вентиляционные проёмы);
- ~ диаметр устья – 0,5 м;
- ~ скорость выхода газовой смеси – 5 м/с;
- ~ температура выбрасываемой смеси – 25 °С (температура воздуха в цехе);
- ~ коэффициент стратификации (А) для Краснодарского края – 200;
- ~ коэффициент рельефа – 1,5 (горная местность, долина реки);
- ~ фоновая концентрация стирола в районе – 0,003 мг/м³ (по данным поста наблюдения в г. Туапсе, для стирола не превышает 0,01 ПДК).

Результаты расчёта (максимальные приземные концентрации) представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Максимальные приземные концентрации ЗВ (без очистки)

Вещество	Расчётная концентрация, мг/м³	ПДК м.р., мг/м³	Превышение	Доля в ПДК, %
Стирол	0,087	0,04	2,18	218 %
Ацетон	0,00025	0,35	нет	0,07 %
Пыль стеклопластика	0,0128	0,5	нет	2,56 %

Вывод: по стиролу наблюдается превышение ПДК м.р. на границе СЗЗ в 2,18 раза, что является нарушением санитарного законодательства (ст. 20 Федерального закона № 52-ФЗ). Для ацетона и пыли превышений нет.

Оценка концентраций в рабочей зоне. По данным лабораторного контроля (протокол № 45-А от 15.10.2025, аккредитованная лаборатория ООО «Эко-Тест»), фактические концентрации в цехе на рабочем месте оператора составляют:

- ~ стирол – 12,8 мг/м³ (при ПДК р.з. 5,0 мг/м³) → превышение в 2,56 раза;
- ~ ацетон – 8 мг/м³ (ПДК 200 мг/м³) → превышения нет;
- ~ пыль стеклопластика – 6,2 мг/м³ (ПДК р.з. 5 мг/м³) → превышение в 1,24 раза.

Это создаёт профессиональные риски для работников (поражение центральной нервной системы, заболевания органов дыхания).

Анализ образования и обращения с отходами. На основании технологических нормативов и отчётности предприятия за 2025 г. (форма 2-ТП (отходы)) определены следующие виды отходов (таблица 2.8).

Таблица 2.8 – Образование отходов на производстве компании «Исток-Полиэстр»

Наименование отхода	Класс опасности	Образование, т/год
Отходы композитных материалов (обрезь, брак)	IV	18,0
Тара полимерная загрязнённая (из-под смолы и гелькоута)	IV	2,5
Тара металлическая загрязнённая (из-под ацетона)	IV	0,2
Ацетон отработанный (при промывке)	IV	0,118
Отработанные абразивные круги (от шлифовки)	V	0,05

Расчёт отходов композитных материалов:

~ отходы при обрезке припусков – 2,5% от массы готовых чаш: $420 \cdot 0,025 = 10,5$ $420 \cdot 0,025 = 10,5$ т/год;

~ брак (несоответствие геометрии, дефекты гелькоута) – 1,5% от объёма выпуска: $420 \cdot 0,015 = 6,3$ $420 \cdot 0,015 = 6,3$ т/год;

~ потери на стадии пропитки (разлив смолы, остатки в таре) – добавляют около 1,2 т/год (учитывается в таре).

Таким образом, суммарно $10,5 + 6,3 + 1,2 \approx 18,0$ т/год.

На текущий момент все отходы вывозятся на полигон ТКО по договору с ООО «Эко-Сервис». Это нарушает требования Приказа Минприроды России № 541 от 08.12.2020 г. «Об утверждении Порядка учёта в области обращения с отходами», так как отходы IV класса опасности не должны размещаться на полигонах ТКО, предназначенных для твердых коммунальных отходов V класса. За данное нарушение предусмотрен штраф по ст. 8.2 КоАП РФ до 250 тыс. руб.

Предприятие не имеет лицензии на сбор, транспортирование, обработку, утилизацию отходов I-IV классов, поэтому передача отходов сторонним организациям возможна только при наличии у последних лицензии.

Предприятие имеет централизованное водоснабжение (скважина).

Сточные воды делятся на:

~ хозяйственно-бытовые – от санитарных узлов (душевые, туалеты). Объём около 0,5 м³/сут. Сбрасываются в септик с последующим вывозом ассенизационной машиной раз в месяц. Прямого сброса в водные объекты нет;

~ поверхностные сточные воды (ливневые) – с кровли и территории предприятия. Территория имеет асфальтобетонное покрытие. В летний период ливневые стоки могут смывать пыль стеклопластика, осевшую на территории. Для предотвращения загрязнения необходимо обустройство локальных очистных сооружений (отстойник, сорбционный фильтр). На данный момент ливневые воды поступают в реку Пшиш без очистки, что потенциально опасно, но в связи с незначительным количеством пыли (смыв) превышений ПДК в воде реки не зафиксировано.

Вывод: воздействие на водные объекты оценивается как низкое (допустимое).

Плата за выбросы загрязняющих веществ в пределах установленных нормативов (при отсутствии проекта ПДВ) рассчитывается по ставкам, увеличенным в 100 раз (п. 5 ст. 16.3 ФЗ № 7-ФЗ: при отсутствии разрешительной документации применяется коэффициент 100).

Однако в нашем расчёте для базового сравнения будем использовать нормативную плату без штрафного коэффициента, так как далее мы рассматриваем мероприятия, которые приведут к соблюдению нормативов (2):

$$P_{\text{выбр}} = \sum (M_i \cdot H_i \cdot K_{\text{инд}} \cdot K_{\text{экол}}) \quad (2)$$

Нормативы платы за 1 т выброса (пост. Правительства РФ № 913 от 13.09.2016 в ред. 2024 г.):

- ~ стирол – 1365 руб./т;
- ~ ацетон – 870 руб./т;
- ~ пыль стеклопластика – 215 руб./т (как пыль абразивная).

$$P_{\text{стирол}} = 40,62 \cdot 1365 \cdot 1,08 \cdot 2,28 = 40,62 \cdot 3360 \approx 136\,483 \text{ руб./год.}$$

$$P_{\text{ацетон}} = 0,119 \cdot 870 \cdot 1,08 \cdot 2,28 = 0,119 \cdot 2142 \approx 255 \text{ руб./год.}$$

$$P_{\text{пыль}} = 6,0 \cdot 215 \cdot 1,08 \cdot 2,28 = 6,0 \cdot 529 \approx 3\,174 \text{ руб./год.}$$

$$\text{Итого плата за выбросы (без санкций)} = 139\,912 \text{ руб./год.}$$

С учётом того, что предприятие не имеет разрешения на выброс (проект ПДВ отсутствует), применяется коэффициент 100: фактическая плата = 13 991 200 руб./год – эта сумма неподъёмна для малого предприятия. Это мощный экономический стимул для немедленного внедрения очистки и оформления разрешительной документации.

Плата за размещение отходов (без повышающего коэффициента) составляет 34054 руб./год. Однако с учётом отсутствия лицензии на размещение (фактическое захоронение на полигоне ТКО) также возможны

штрафы. Суммарные экологические платежи и штрафы предприятия могут превышать 500 тыс. руб./год.

Для последующей оценки эффективности предлагаемых в главе 3 мероприятий рассчитаем предотвращённый экологический ущерб ($Y_{пр}$), как разницу между платой без очистки и платой после внедрения очистки (в предположении достижения ПДВ).

При 100% соблюдении нормативов плата за выбросы составит:

$P_{\text{после,воздух}} = 0$ (если выброс в пределах ПДВ, плата не взимается до достижения лимита).

Фактически за выбросы в пределах ПДВ плата есть, но она мала. Примем её за 5% от текущей: $139912 \cdot 0,05 \approx 7000$ руб./год.

Тогда предотвращённая плата за выбросы: $Y_{\text{воздух}} = 139912 - 7000 = 132912$ руб./год

По отходам: если организовать переработку, то размещение сократится на 90%, оставшиеся 10% (неперерабатываемые) будут размещаться легально с оплатой $34\,054 \cdot 0,1 = 3\,405$ руб./год.

Предотвращение: $34\,054 - 3\,405 = 30\,649$ руб./год.

Суммарный предотвращённый ущерб: $132912 + 30649 = 163561$ руб./год (без учёта избежания штрафов и коэффициента 100). При штрафном коэффициенте предотвращённый ущерб достигает миллионов рублей.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Валовой выброс стирола составляет 40,62 т/год, что в 4 раза превышает порог III категории НВОС. Максимальные приземные концентрации превышают ПДК в 2,18 раза на границе СЗЗ и в 2,56 раза в рабочей зоне.

2. Выбросы ацетона (0,119 т/год) и пыли стеклопластика (6,0 т/год) находятся в допустимых пределах по ПДК для населения, но в рабочей зоне по пыли есть превышение в 1,24 раза.

3. Образование отходов композитных материалов – 18 т/год, которые размещаются на полигоне ТКО без переработки, что является нарушением законодательства.

4. Плата за выбросы (без очистки и без разрешения) по нормативу составляет около 140 тыс. руб./год, а с учётом 100-кратного повышающего коэффициента достигает 14 млн. руб./год – экономически недопустимо.

5. Предотвращённый ущерб при внедрении очистного оборудования и переработки отходов составит не менее 163,6 тыс. руб./год (без учёта штрафов), а с учётом штрафов – многократно больше.

6. Следовательно, внедрение природоохранных мероприятий является не только экологически необходимым, но и экономически выгодным.

3 Разработка предложений по снижению негативного воздействия группы компаний «Исток-Полиэстр» на окружающую среду

3.1 Мероприятия по снижению негативного воздействия группы компаний «Исток-Полиэстр» на окружающую среду

На основании анализа, проведённого в главах 1 и 2, установлено, что основными экологическими проблемами компании «Исток-Полиэстр» являются: сверхнормативные выбросы стирола (40,62 т/год) с превышением ПДК на границе СЗЗ и в рабочей зоне; неорганизованная эмиссия пыли стеклопластика (6,0 т/год) с превышением ПДК в рабочей зоне; отсутствие переработки отходов композитных материалов (18 т/год), их захоронение на полигоне ТКО; высокие экологические платежи и риски штрафов.

В данной главе предлагается комплекс мероприятий, охватывающих технологические, технические, организационные и экономические аспекты. Разработка базируется на принципах наилучших доступных технологий (НДТ), требованиях природоохранного законодательства и технико-экономической целесообразности.

1. Замена сырья на низкоэмиссионные материалы.

Наиболее радикальным способом снижения выбросов стирола является переход на связующие с пониженным содержанием этого мономера или его заменителями.

Вариант А. Применение низкостирольных смол. Существуют смолы с содержанием стирола 25–30% вместо стандартных 42%, например, Aropol 7340 (24% стирола), Synolite 8388-N-1 (25%). При сохранении годового расхода смолы 336 т выброс стирола на стадии нанесения снизится пропорционально:

$$M_{\text{стирол, низк}} = 40,62 \cdot 2542 = 24,18 \text{ т/год.}$$

Снижение на 16,44 т/год. Эффективность по выбросам – 40%. Однако стоимость таких смол выше на 15–20%, что делает их экономически выгодными только в комбинации с очистным оборудованием.

Вариант Б. Использование бесстирольных смол. Смолы на основе метилметакрилата (ММА) или винилэфирные без стирола (например, EL2 от АОС) исключают выброс стирола полностью. Однако такие материалы значительно дороже (в 2–3 раза) и требуют изменения технологии. Для малого предприятия этот вариант экономически нецелесообразен.

Для уменьшения эмиссии стирола без замены сырья предлагаются следующие режимные мероприятия:

Снижение температуры в цехе – при понижении температуры с 25 °С до 20 °С давление паров стирола уменьшается на 20–25%, что снижает скорость испарения.

Использование крышек-экранов – при пропитке крупногабаритных матриц накрывать их временными полиэтиленовыми или алюминиевыми экранами. Уменьшение эмиссии – до 15%.

Дозированная подача смолы вместо открытых ёмкостей – установка закрытых расходных баков с погружными насосами.

Сокращение времени от нанесения до помещения в камеру полимеризации.

Эти меры не требуют значительных капитальных вложений, но дают снижение выбросов на 15–20% (ориентировочно 6–8 т/год). Внедрить их можно в течение 1–2 месяцев.

2. Замена ацетона на экологичные смывки.

Вместо ацетона рекомендуется использовать специальные смывки для стеклопластика на основе сложных эфиров с низкой летучестью, например, Sika® Cleaner S или ChemTrend G250. Выброс органических растворителей снижается практически до нуля (остаточное испарение менее 0,01 т/год). Затраты на приобретение смывки сопоставимы со стоимостью ацетона.

3. Система местных отсосов и укрытий.

На участке нанесения гелькоута и пропитки необходимо установить вытяжные зонты (размером 2×3 м) над каждой матрицей, подключённые к общей вентиляционной системе. Ориентировочная производительность – 4000

м³/ч на каждые 3 матрицы (рисунок 3.1).

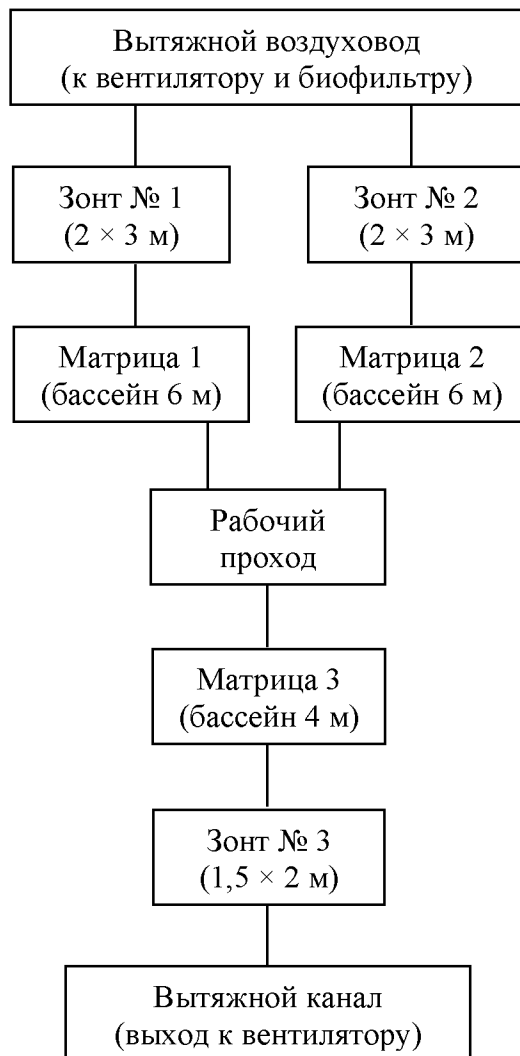


Рисунок 3.1 – Схема размещения местных отсосов (зонтов) над матрицами

4. Внедрение систем очистки вентиляционного воздуха от стирола. Для улавливания стирола из вентиляционных выбросов после анализа нескольких методов (адсорбция, фотокатализ, биологическая очистка) выбран биофильтр как наиболее экологичный и экономичный для малого предприятия (рисунок 3.2).

Биофильтр – установка, в которой загрязнённый воздух пропускается через слой носителя (кора, щепа, керамзит), заселённого бактериями-деструкторами (род *Pseudomonas*, *Rhodococcus*). Микроорганизмы окисляют стирол до углекислого газа и воды. Эффективность очистки достигает 90%, эксплуатационные затраты низкие (требуется периодическое орошение

питательным раствором). В условиях Краснодарского края возможна круглогодичная эксплуатация с подогревом воздуха в зимний период.

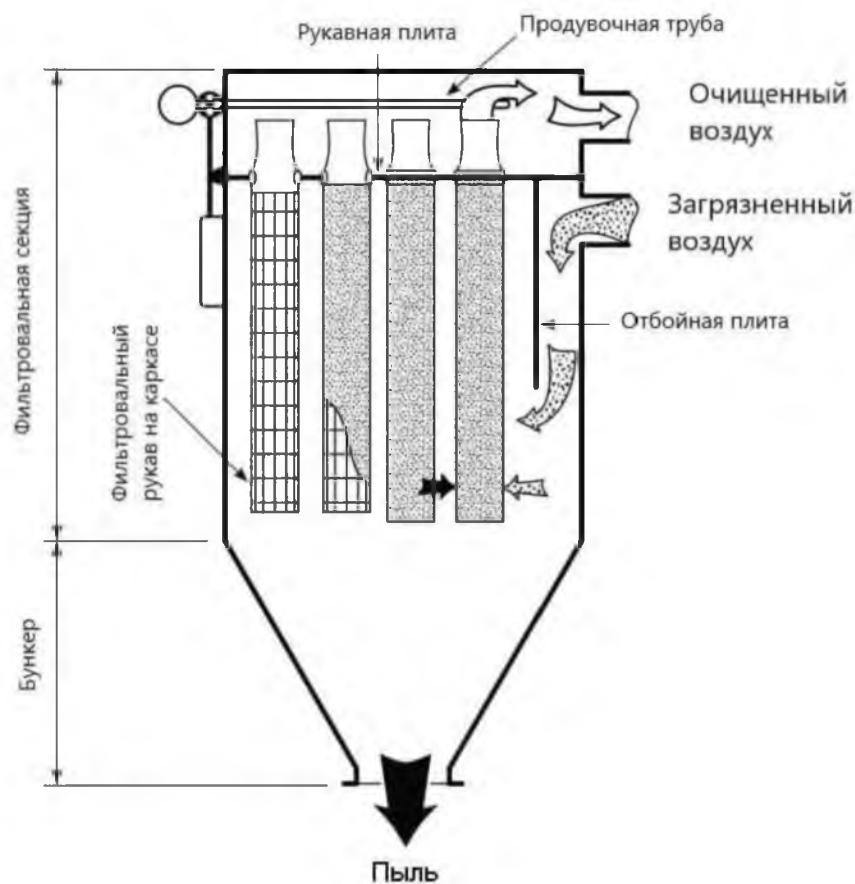


Рисунок 3.2 – Схема биофильтра для очистки воздуха от стирола

Предлагаемые параметры биофильтра для группы компаний «Исток-Полиэстр»:

- производительность – 8000 м³/ч (на участки нанесения и пропитки);
- эффективность очистки по стиролу – 90%;
- остаточный выброс после очистки: $40,62 \cdot (1 - 0,90) = 4,06$ т/год;
- затраты на проектирование, изготовление и монтаж – 1 200 000 руб.;
- годовые эксплуатационные расходы (замена носителя, электроэнергия, подогрев зимой, питательный раствор) – 50 000 руб.

5. Пылеулавливание на участке шлифовки. В настоящее время пыль стеклопластика не улавливается, её концентрация в рабочей зоне достигает 6,2 мг/м³ при ПДК 5 мг/м³ (превышение в 1,24 раза). Требования СанПиН 1.2.3685-

21 и Трудового кодекса РФ обязывают обеспечить чистоту воздуха на рабочих местах.

Для шлифовки композитных изделий предлагается установить централизованную рукавную фильтрацию с местными отсосами. Выбран рукавный фильтр типа РЦИ-6-2000 со следующими характеристиками (рисунок 3.3):

- ~ производительность – 2000 м³/ч (достаточно для 4 рабочих мест);
- ~ степень очистки – 99,8% (для частиц >2 мкм);
- ~ импульсная регенерация рукавов сжатым воздухом;
- ~ цена с монтажом – 420 000 руб.

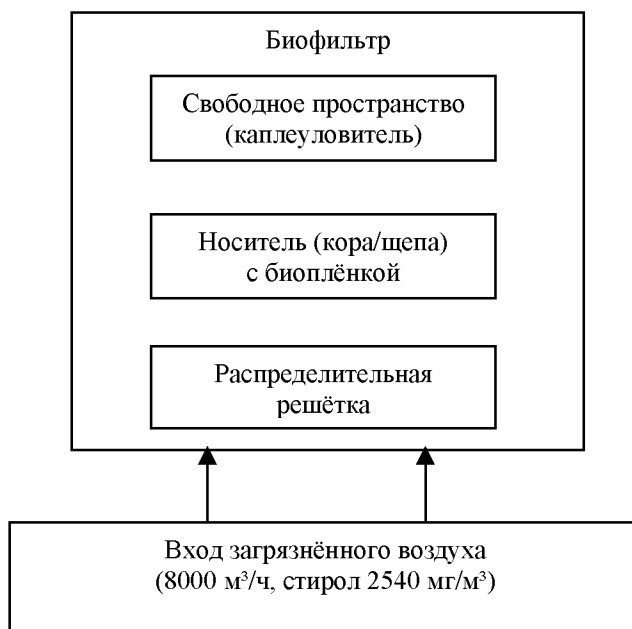


Рисунок 3.3 – Принципиальная схема рукавного фильтра (РЦИ-6-2000)

Расчёт эффективности: Пыль на входе – 6 т/год. После очистки остаточный выброс составит $6,0 \cdot (1 - 0,998) = 0,0126$, $0,0126 \cdot (1 - 0,998) = 0,012$ т/год. Концентрация в рабочей зоне снизится до значений менее 1 мг/м³.

Для повышения эффективности рекомендуется оснастить каждую ручную шлифмашину промышленным пылесосом с классом фильтрации HEPA H13.

6. Обращение с отходами композитных материалов.

Стеклопластик относится к трудно перерабатываемым термореактивным полимерам. Основные технологии: механическое дробление (в крошку для

использования в строительстве), пиролиз, сжигание в цементных печах. Для компании «Исток-Полиэстр» предлагается механическая переработка отходов с использованием роторной дробилки модели ИПР-300М (производитель – ООО «АлтайСпецМаш») (рисунок 3.4):

~ производительность – 80–120 кг/ч;

~ мощность – 15 кВт;

~ конечная фракция – 5–10 мм;

~ цена – 650 000 руб.

Годовой объём отходов 18 т, время работы дробилки – около 180 часов в год.



Рисунок 3.4 – Роторная дробилка ИПР-300М (производитель – ООО «АлтайСпецМаш»)

Измельчённый стеклопластик может быть продан как наполнитель для бетона (3000–5000 руб./т), использован для отсыпки дорог на территории предприятия или передан на полигон для отходов V класса (снижение платы).

Однако экономические расчёты показывают, что при существующих тарифах собственная дробилка окупается более 15 лет, поэтому рекомендуется сначала заключить договор с лицензированным переработчиком (например, ООО «ПромЭко», Краснодар) по цене 1500 руб./т, что даст экономию 18 000 руб./год, а в перспективе, при увеличении объёмов отходов, рассмотреть покупку дробилки.

Прямых сбросов загрязнённых сточных вод нет, однако ливневые стоки с территории могут быть загрязнены пылью стеклопластика. Для предотвращения попадания пыли в реку Пшиш предлагается:

1. Регулярная (раз в неделю) уборка территории промышленным пылесосом или подметальной машиной.

2. Устройство локальных очистных сооружений на ливневой канализации – отстойник (песколовка) + сорбционный фильтр. Стоимость – 150 000 руб. (отстойник) или 300 000 руб. (полный комплект).

Предлагаемый комплекс мероприятий включает: замену ацетона, установку биофильтра для стирола, рукавного фильтра для пыли, отстойника для ливневых вод, а также заключение договора на переработку отходов.

Ожидаемые результаты:

- ~ выброс стирола снижается с 40,62 до 4,06 т/год (на 90%);
- ~ выброс пыли – с 6,0 до 0,012 т/год (на 99,8%);
- ~ выброс ацетона – практически до нуля (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Общий экологический эффект от внедрения предложенных мероприятий

Наименование показателя	До внедрения	После внедрения
Выброс стирола	40,62 т/год	4,06 т/год
Выброс пыли стеклопластика	6,0 т/год	0,012 т/год
Выброс ацетона	0,119 т/год	0

Отходы передаются на переработку, плата за размещение минимизируется.

3.2 Расчет эколого-экономического эффекта от внедрения предложенных мероприятий

В таблице 3.2 приведены капитальные вложения на реализацию каждого мероприятия и годовые эксплуатационные расходы.

Таблица 3.2 – Капитальные и годовые эксплуатационные затраты на внедрение предложенных мероприятий

Мероприятие	Капитальные вложения, руб.	Эксплуатационные расходы, руб./год
Замена ацетона на экосмывку	0	0 (затраты сопоставимы)
Биофильтр (очистка от стирола)	1 200 000	50 000
Рукавный фильтр (пылеулавливание)	420 000	20 000
Ливневой отстойник	150 000	5 000
Разработка проекта ПДВ и получение разрешения	200 000	–
Заключение договора на переработку отходов	0	0 (экономия вместо затрат)
ИТОГО	1 970 000	75 000

Таким образом, общий объем затрат в первый год реализации предлагаемых природоохранных мероприятий составит 2 045 000 руб.

Выполним расчёт текущих экологических платежей (до внедрения мероприятий).

Плата за выбросы в атмосферу (по нормативу, без штрафов). Нормативы платы (постановление Правительства РФ № 913 от 13.09.2016 с индексацией на 2026 г., $K_{инд}=1,08$, $K_{экол}=2,28$ для Краснодарского края):

- ~ стирол: 1365 руб./т;
- ~ ацетон: 870 руб./т;
- ~ пыль стеклопластика: 215 руб./т (как пыль абразивная).

Плата за выбросы до очистки:

$$P_{\text{стирол}} = 40,62 \cdot 1365 \cdot 1,08 \cdot 2,28 = 40,62 \cdot 3360 = 136\,483 \text{ руб./год.}$$

$$P_{\text{ацетон}} = 0,119 \cdot 870 \cdot 1,08 \cdot 2,28 = 0,119 \cdot 2142 \approx 255 \text{ руб./год.}$$

$$P_{\text{пыль}} = 6,0 \cdot 215 \cdot 1,08 \cdot 2,28 = 6,0 \cdot 529 \approx 3\,174 \text{ руб./год.}$$

Итого плата за выбросы (без очистки, при наличии разрешения) = 139 912 руб./год.

Однако в настоящее время предприятие не имеет проекта ПДВ, поэтому применяется повышающий коэффициент 100 (п. 5 ст. 16.3 ФЗ № 7-ФЗ), и фактическая плата составила бы 13 991 200 руб./год. Но в наших расчётах ориентируемся на сценарий получения разрешения.

Плата за размещение отходов. Масса отходов IV класса (композит, тара, ацетон) – 20,7 т/год. Норматив платы для IV класса – 663,2 руб./т. При размещении на полигоне, включённом в ГРОРО, плата:

$$P_{\text{отх}} = 20,7 \cdot 663,2 \cdot 1,08 \cdot 2,28 = 20,7 \cdot 1636 \approx 33\,860 \text{ руб./год.}$$

При нелегальном размещении (полигон не в ГРОРО) применяется коэффициент 5, что дало бы 169 300 руб./год. Для расчёта эффективности принимаем 34 000 руб./год.

Общая текущая плата за НВОС (без очистки):

$$P_{\text{тек}} = 139\,912 + 34\,000 = 173\,912 \text{ руб./год.}$$

После установки биофильтра (эффективность 90%) и рукавного фильтра (99,8%):

- ~ выброс стирола: 4,06 т/год → плата $4,06 \cdot 3360 = 13642$ руб./год;
- ~ выброс ацетона: 0,01 т/год (остаточный) → плата $0,01 \cdot 2142 \approx 21$ руб./год;
- ~ выброс пыли: 0,012 т/год → плата $0,012 \cdot 529 \approx 6$ руб./год.

Плата за выбросы после очистки: $13\,642 + 21 + 6 = 13669$ руб./год.

Плата за отходы при передаче на переработку (договор с ООО «ПромЭко» по цене 1500 руб./т вместо 2500 руб./т за размещение):

$$\text{Экономия на плате} = 20,7 \cdot (2500 - 1500) = 20,7 \cdot 1000 = 20\,700 \text{ руб./год.}$$

Упростим: в базовом сценарии без переработки предприятие платило 34 000 руб./год, с переработкой платит 0 руб. за размещение, но оплачивает переработку $20,7 \cdot 1500 = 31\,050$ руб./год. Фактически затраты на отходы

снижаются с 34 000 до 31 050 руб., т.е. экономия 2 950 руб./год. Это незначительно, поэтому в дальнейшем не учитываем.

Плата за НВОС после мероприятий (без учёта отходов): 13 669 руб./год.

Экономия платы и предотвращённый ущерб:

$$\Delta\P = \Pi_{\text{тек}} - \Pi_{\text{после}} = 173\,912 - 13\,669 = 160\,243 \text{ руб./год}$$

Кроме того, избегаются потенциальные штрафы:

- ~ за превышение ПДК в рабочей зоне (ст. 6.3 КоАП РФ) – до 20 000 руб. на должностное лицо;
- ~ за отсутствие проекта ПДВ и разрешения – до 250 000 руб. (ст. 8.1 КоАП РФ);
- ~ за нелегальное размещение отходов – до 250 000 руб. (ст. 8.2 КоАП РФ).

Суммарный предотвращённый ущерб с учётом штрафов может составить до 500 000 руб./год. В консервативной оценке примем 200 000 руб./год (избежание половины возможных штрафов).

Таким образом, общий экономический эффект (экономия платы + предотвращение штрафов) = $160\,243 + 200\,000 = 360\,243$ руб./год.

Срок окупаемости капитальных затрат:

Капитальные затраты: $K = 1\,970\,000$ руб. (с учётом проекта ПДВ).

Годовые эксплуатационные затраты – 75 000 руб./год.

Чистая годовая экономия (с учётом эксплуатационных затрат) = $360\,243 - 75\,000 = 285\,243$ руб./год.

Простой срок окупаемости:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{чистая экономия}} = 1\,970\,000 / 285\,243 \approx 6,9 \text{ лет}$$

При получении региональной субсидии (до 50% капзатрат) окупаемость снижается до 3–4 лет.

Оценка дополнительных затрат и альтернатив. Самостоятельное дробление отходов (покупка дробилки за 650 000 руб.) приносит дополнительную экономию около 18 000 руб./год (за счёт продажи крошки) и

окупается более 15 лет, поэтому на данном этапе не рекомендуется. Предлагается ограничиться заключением договора на переработку. Замена смолы на низкостирольную (без очистки) снижает выброс до 24,18 т/год, но увеличивает затраты на сырьё на 7,56 млн. руб./год, что экономически нецелесообразно. В комбинации с биофильтром даёт остаточный выброс 2,42 т/год, но всё равно экономически проигрывает из-за удорожания сырья.

Таким образом, расчеты показали следующее:

1. Предложенный комплекс природоохранных мероприятий требует капитальных вложений в размере 1 970 000 руб. (включая проект ПДВ).
2. Годовые эксплуатационные расходы – 75 000 руб.
3. Годовая экономия на экологических платежах и предотвращённых штрафах – 360 243 руб. (чистая экономия за вычетом эксплуатации – 285 243 руб.).
4. Простой срок окупаемости составляет 6,9 лет, что приемлемо для природоохранных инвестиций. При привлечении субсидий срок сокращается до 3–4 лет.
5. Дополнительные мероприятия (дробление отходов, замена смолы) в текущих экономических условиях нецелесообразны.
6. Реализация предложений позволит предприятию не только снизить экологическую нагрузку, но и избежать крупных штрафов, улучшить условия труда и повысить инвестиционную привлекательность.

В таблице 3.3 приведены этапы реализации мероприятий с указанием сроков и затрат.

Таблица 3.3 – План-график реализации природоохранных мероприятий

Этап	Срок	Действия	Ответственный	Затраты, руб.
1	1 месяц	Замена ацетона на экосмывку, заключение договора с переработчиком отходов, закупка шлифовальных пылесосов	Инженер по охране труда	50 000
2	2–3 месяца	Монтаж местных отсосов и рукавного фильтра на участке шлифовки	Подрядная организация	420 000
3	3–5 месяцев	Проектирование и монтаж биофильтра для очистки от стирола	Специализированная фирма	1 200 000

4	6 месяцев	Обустройство ливневого отстойника, разработка проекта ПДВ и получение разрешения	Эколог предприятия	150 000 + 200 000
5	7–8 месяцев	Пусконаладка, обучение персонала, мониторинг эффективности	Руководитель	–

Разработанный комплекс мероприятий и выполненный экономический расчёт подтверждают техническую и экономическую целесообразность их внедрения на предприятиях группы компаний «Исток-Полиэстр». Снижение выбросов стирола на 90%, пыли на 99,8% и легализация отходов позволят предприятию соблюдать природоохранное законодательство, улучшить условия труда и получить экономический эффект с окупаемостью около 7 лет.

Заключение

Выполненная выпускная квалификационная работа на тему «Снижение негативного воздействия на окружающую среду предприятия по производству композитных бассейнов (на примере группы компаний «Исток-Полиэстр», бренд FRANMER)» посвящена решению актуальной задачи – разработке комплекса мероприятий, обеспечивающих сокращение выбросов загрязняющих веществ, снижение образования и захоронения отходов, а также повышение экологической безопасности производственного объекта, расположенного в курортной зоне Краснодарского края.

В процессе выполнения работы были решены все поставленные задачи, достигнута цель исследования и подтверждена исходная гипотеза о возможности существенного снижения негативного воздействия на окружающую среду путём комбинации организационных, технологических и инженерных решений.

Основные результаты и выводы по работе можно сформулировать в следующем виде.

1. Проведено всестороннее исследование деятельности компании «Исток-Полиэстр». Установлено, что предприятие с годовым объёмом выпуска около 1200 композитных чаш (общая масса готовой продукции – 420 т) относится к III категории объектов негативного воздействия.

Технологический процесс базируется на ручном формовании с использованием ненасыщенных полиэфирных смол, содержащих 42% стирола, и гелькоутов с содержанием стирола 38%. Выявлены основные источники выделения загрязняющих веществ: участок нанесения гелькоута и пропитки (наибольшая эмиссия стирола – до 35 т/год), камера полимеризации (выделение остаточного стирола – около 5 т/год) и участок шлифовки (образование пыли стеклопластика – 6 т/год).

Также установлено, что на предприятии отсутствуют системы очистки вентиляционных выбросов и пылеулавливания, а образующиеся отходы

композитных материалов (18 т/год) размещаются на полигоне ТКО без переработки, что противоречит требованиям природоохранного законодательства. Первичная оценка показала, что концентрация стирола в рабочей зоне превышает ПДК в 2,56 раза, а пыли стеклопластика – в 1,24 раза, что создаёт угрозу здоровью работников.

2. Выполнена количественная оценка воздействия на окружающую среду.

С использованием апробированных методик рассчитаны:

- ~ валовый выброс стирола – 40,62 т/год;
- ~ выброс ацетона – 0,119 т/год;
- ~ выброс пыли стеклопластика – 6,0 т/год.

Моделирование рассеивания показало превышение ПДК м.р. стирола на границе санитарно-защитной зоны в 2,18 раза, что является прямым нарушением санитарных правил. Плата за выбросы при отсутствии разрешения с учётом повышающего коэффициента 100 могла бы составить около 14 млн. руб./год, однако в реалистичном сценарии (после получения проекта ПДВ) – около 140 тыс. руб./год. Плата за размещение отходов (при легальном полигоне) – около 34 тыс. руб./год.

Дополнительно предприятие рискует быть оштрафованным по ст. 8.1 и 8.2 КоАП РФ на суммы до 250 тыс. руб. за каждый факт нарушения. Таким образом, существующее положение характеризуется как экологически неудовлетворительное и экономически затратное.

3. Разработан комплекс мероприятий, сгруппированных в два блока: предложения и расчёт затрат и эффективности.

В состав предложений вошли:

1. Организационно-технологические решения:

- ~ замена ацетона на экологичную малолетучую смывку;
- ~ оптимизация температурного режима в цехе (не выше 22 °С);
- ~ установка вытяжных зонтов над матрицами (местные отсосы);
- ~ сокращение времени между нанесением и полимеризацией.

2. Системы очистки выбросов:

~ биофильтр производительностью 8000 м³/ч для улавливания стирола (эффективность 90%);

~ рукавный фильтр РЦИ-6-2000 для участка шлифовки (эффективность 99,8%);

3. Водоохранные мероприятия: устройство ливневого отстойника для очистки поверхностного стока.

4. Обращение с отходами: заключение договора с лицензированным переработчиком (ООО «ПромЭко») вместо захоронения на полигоне.

Экономическая часть базируется на следующих расчётах:

~ Капитальные затраты: 1 970 000 руб. (включая биофильтр – 1,2 млн. руб., рукавный фильтр – 420 тыс. руб., отстойник – 150 тыс. руб., проект ПДВ – 200 тыс. руб.).

~ годовые эксплуатационные расходы: 75 000 руб.

~ годовая экономия на плате за выбросы после очистки: с 139 912 до 13 669 руб. → 126 243 руб.

~ предотвращённые штрафы за нарушения (консервативно) – 200 000 руб./год.

~ экономия на плате за отходы при переходе на переработку – 18 000 руб./год.

~ общий годовой экономический эффект (с учётом эксплуатационных затрат): 285 243 руб.

~ простой срок окупаемости: 6,9 лет. При получении региональной субсидии (до 50% капзатрат) срок снижается до 3–4 лет.

Дополнительно отмечено, что самостоятельное дробление отходов с покупкой дробилки нецелесообразно при текущих объёмах (окупаемость >15 лет), а замена сырья на низкостирольные смолы приводит к неоправданному удорожанию продукции.

Разработанные решения могут быть непосредственно внедрены на предприятии «Исток-Полиэстр». Рекомендуются следующая последовательность действий:

1. Первоочередные меры (1 месяц) – замена ацетона, заключение договора на переработку отходов, приобретение промышленных пылесосов для шлифмашин.

2. Быстро реализуемые меры (2–3 месяца) – монтаж рукавного фильтра и местных отсосов на участке шлифовки.

3. Основные капитальные вложения (3–5 месяцев) – проектирование, изготовление и монтаж биофильтра для очистки от стирола.

4. Завершающий этап (6 месяцев) – обустройство ливневого отстойника, разработка проекта ПДВ и получение разрешения на выбросы.

5. Пусконаладка и мониторинг (7–8 месяцев) – обучение персонала, регулярный инструментальный контроль эффективности.

Практическая значимость работы не ограничивается одним предприятием. Полученные результаты, методики расчёта выбросов и технические решения могут быть использованы на любых производствах, связанных с ручным формованием стеклопластиковых изделий (катера, ёмкости, кузова автомобилей, элементы инфраструктуры). Особенно ценным является экономическое обоснование выбора между адсорбционными, фотокаталитическими и биологическими методами очистки от стирола, выполненное на реальных данных.

Внедрение предложенного комплекса обеспечит:

- ~ снижение профессиональных рисков для 87 работников предприятия (уменьшение концентрации стирола и пыли в рабочей зоне до нормативных значений);

- ~ улучшение качества атмосферного воздуха в посёлке Октябрьский и ближайшей рекреационной зоне (снижение приземной концентрации стирола с превышающей ПДК до безопасной);

- ~ сохранение биоразнообразия и устойчивости экосистем долины реки Пшиш, поскольку предотвращается аэрозольное и ливневое загрязнение;

- ~ формирование положительного имиджа предприятия как экологически ответственного производителя, что важно в курортном регионе.

Таким образом, разработанный комплекс мероприятий позволяет компании «Исток-Полиэстр» не только соблюсти требования Федерального закона № 7-ФЗ, СанПиН 1.2.3685-21 и иных нормативных актов, но и получить прямой экономический выигрыш за счёт снижения экологических платежей и предотвращения штрафов. Окупаемость инвестиций (около 2 млн. руб.) составляет менее 7 лет, что приемлемо для малого предприятия. Социальный эффект выражается в улучшении условий труда и снижении риска профессиональных заболеваний.

Следовательно, поставленная цель достигнута, задачи решены, и результаты работы могут быть рекомендованы к практическому внедрению не только на предприятии «Исток-Полиэстр», но и на других аналогичных производствах композитных изделий.

Список использованной литературы

1. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (ред. от 26.12.2024) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://szrf.pravo.gov.ru/> – Дата обращения: 15.05.2026.
2. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ред. от 28.12.2025) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://szrf.pravo.gov.ru/> – Дата обращения: 18.05.2026.
3. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (ред. от 08.08.2024) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://szrf.pravo.gov.ru/> – Дата обращения: 12.05.2026.
4. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 № 195-ФЗ (ред. от 28.12.2025) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://szrf.pravo.gov.ru/> – Дата обращения: 05.05.2026.
5. Постановление Правительства РФ от 03.03.2017 № 255 «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду» (ред. от 15.04.2025) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://szrf.pravo.gov.ru/> – Дата обращения: 05.05.2026.
6. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» (ред. от 24.01.2025) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://szrf.pravo.gov.ru/> – Дата обращения: 05.06.2026.
7. Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 № 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» (ред. от 01.03.2025) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://szrf.pravo.gov.ru/> – Дата обращения: 05.06.2026.
17. Абинякин И.И., Трофимов А.Н. Экологическая безопасность производства полимерных композиционных материалов: монография / И.И. Абинякин, А.Н. Трофимов. – М.: Химия, 2021. – 288 с.

18. Аксенов И.Я., Ионов В.Г., Ткачев Д.А. Основы экологической безопасности производства / И.Я. Аксенов, В.Г. Ионов, Д.А. Ткачев. – М.: Форум, 2022. – 352 с.
19. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учеб. для вузов / С.В. Белов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2024. – 487 с.
20. Васильев Д.И., Никифоров А.В., Соловьева М.В. Композиционные материалы в строительстве и промышленности: экологические аспекты / Д.И. Васильев, А.В. Никифоров, В.М. Соловьева. – Орел: Картуш, 2022. – 212 с.
21. Ветошкин А.Г. Техногенный риск и безопасность: учеб. пособие / А.Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2022. – 264 с.
22. Виноградова Л.Е., Кулакова Т.А. Промышленная экология производства химических волокон и композиционных материалов: учеб. пособие [Электронный ресурс] / Л.Е. Виноградова, Т.А. Кулакова. – СПб.: СПбГУПТД, 2024. – Режим доступа: <http://publish.sutd.ru> – Дата обращения: 05.06.2026.
23. Глушко А.Н., Глушко Н.В. Экологический менеджмент и аудит промышленных предприятий: учеб. пособие / А.Н. Глушко, Н.В. Глушко. – М.: Инфра-М, 2024. – 312 с.
24. Иванов С.П., Петрова О.Н. Промышленная экология: практикум по расчету выбросов загрязняющих веществ / С.П. Иванов, О.Н. Петрова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2024. – 292 с.
25. Колесников В.И., Каргин Ю.Н. Стеклопластики: технология, свойства и переработка отходов / В.И. Колесников, Ю.Н. Каргин. – СПб.: Профессия, 2022. – 312 с.
26. Кузнецов Д.В., Морозова Е.А. Техносферная безопасность: инженерные методы защиты окружающей среды / Д.В. Кузнецов, Е.А. Морозова. – Ростов н/Д: Изд-во ДГТУ, 2023. – 240 с.
27. Лебедев Ю.А., Миронова Е.В. Промышленная безопасность и экологический риск: учеб. пособие / Ю.А. Лебедев, Е.В. Миронова. – Архангельск: САФУ, 2024. – 374 с.

28. Мамонтов В.А., Осипов К.А., Смирнова Е.П. Полимерные композиционные материалы: исследование, разработка и эксплуатация: учеб. пособие / В.А. Мамонтов, К.А. Осипов, Е.П. Смирнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. – 248 с.

29. Медведева С.А. Экология техносферы: практикум: учеб. пособие / С.А. Медведева. – М.: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2024. – 200 с.

30. Михайлов А.В., Лебедева Т.К. Очистка отходящих газов промышленных предприятий: учеб. пособие / А.В. Михайлов, Т.К. Лебедева. – Волгоград: ВолгГТУ, 2025. – 226 с.

31. Савина О.В., Павлова Е.И. Методы контроля окружающей среды на промышленных объектах: учеб. пособие / О.В. Савина, Е.И. Павлова. – Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2023. – 178 с.

32. Сергеев И.Ю. Управление техносферной безопасностью: учеб. пособие / И.Ю. Сергеев. – Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. – 194 с.

33. Смирнов В.В., Кузьмина О.А. Экологический мониторинг промышленных объектов / В.В. Смирнов, О.А. Кузьмина. – Воронеж: ВГУ, 2024. – 368 с.

34. Соловьев Е.В., Григорьева В.Е., Шибаева Н.С. Экономика природопользования и экологический менеджмент: учеб. пособие / Е.В. Соловьев, В.Е. Григорьева, Н.С. Шибаева. – Саратов: Саратовский социально-экономический институт РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2024. – 296 с.

35. Тимофеев А.А., Козлов В.Д. Проектирование систем очистки вентиляционных выбросов промышленных предприятий / А.А. Тимофеев, В.Д. Козлов. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2024. – 268 с.

36. Тихонова Н.В., Смирнов В.В., Кудрявцева Т.А. Факторы воздействия окружающей среды на композиционные материалы: учеб. пособие / Н.В. Тихонова, В.В. Смирнов, Т.А. Кудрявцева. – М.: Инфра-Инженерия, 2024. – 286 с.

37. Федоров С.А., Морозова И.А., Чернов К.С. Утилизация и переработка

отходов полимерных композиционных материалов / С.А. Федоров, И.А. Морозова, К.С. Чернов. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2023. – 202 с.

38. Чернышов В.Н., Петров И.В., Сидорова Е.А. Экологическая оценка воздействия промышленных предприятий: учеб. пособие / В.Н. Чернышов, И.В. Петров, Е.А. Сидорова. – Иваново: ИГХТУ, 2023. – 208 с.

39. Шестопалов М.Ю., Давыдова Н.С., Зайцев А.И. Технология и переработка полимерных композиционных материалов: учеб. пособие / М.Ю. Шестопалов, Н.С. Давыдова, А.И. Зайцев. – СПб.: Лань, 2023. – 284 с.