

ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИКО-ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ



П. И. Шорохов, студент 3-го курса
E-mail: zaraza1921@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет
имени И. А. Бунина»



К. А. Полякова, старший преподаватель
E-mail: kristina-seva@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет
имени И. А. Бунина»

Р. Ю. Поляков, канд. техн. наук, доц.
E-mail: polyakov_emk@mail.ru
ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет
имени И. А. Бунина»

В статье представлен комплексный анализ организации трудовых процессов на предприятиях химико-фармацевтической промышленности в аспекте обеспечения техносферной безопасности, а также охраны труда. Актуальность исследования обусловлена спецификой отрасли, где сочетание химических реагентов, сложного технологического оборудования и человеческого фактора создает повышенные риски аварийности. Целью данной работы является разработка мероприятий по уменьшению производственного травматизма на примере среднего по масштабу химико-фармацевтического производства. В ходе исследования были применены методы оценки профессиональных рисков (FMEA), инструментальные замеры параметров производственной среды и хронометраж операций. Проведен статистический анализ производительности с использованием t -критерия Стьюдента и корреляционно-регрессионное моделирование связи напряженности труда с частотой ошибок. Выявлено, что ключевыми проблемами являются высокий удельный вес простоев, отклонение от норм времени и недостаточная подготовка персонала к действиям в чрезвычайных ситуациях. Предложен комплекс организационно-технических мер, включающий эргономическую модернизацию рабочих мест, автоматизацию контроля доступа и внедрение системы ротации кадров. Реализация предложенных мероприятий позволит снизить частоту инцидентов и повысить уровень защищенности персонала при выполнении технологических операций.

Ключевые слова: охрана труда, оценка рисков, организация труда, производственный травматизм, FMEA-анализ, статистическая обработка данных.

ВВЕДЕНИЕ

Современная химико-фармацевтическая отрасль характеризуется высокой интенсивностью технологических процессов, использованием агрессивных сред и работой под давлением. Несмотря на автоматизацию, роль человека в управлении реакционными установками остается критической, что порождает специфические риски техносферной безопасности. Усложнение технологических цепочек требует адаптации систем управления охраной труда (ОТ) к реалиям конкретного производства, где стандартные отраслевые решения могут быть недостаточно эффективными [1].

Согласно Федеральному закону № 181-ФЗ, приоритетом государственной политики является сохранение жизни и здоровья работников [2]. Однако на практике предприятия сталкиваются с дилеммой: соблюдение нормативов безопасности часто вступает в конфликт с задачами повышения производительности. Существующая система компенсаций за вредность не всегда мотивирует работодателей к модернизации, так как капитальные затраты превышают текущие расходы на выплаты [3].

Научная проблема исследования заключается в необходимости интеграции риск-менеджмента в повседневную организацию труда именно на объектах химико-фармацевтического профиля. Актуальность темы обусловлена ростом производственного травматизма в отрасли (3,2 случая на 100 работников при среднем отраслевом показателе 2,1) и необходимостью разработки научно обоснованных подходов к оптимизации трудовых процессов.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования выступает среднее по масштабу химико-фармацевтическое предприятие с годовым объемом выпуска продукции около 12 000 т. Организационная структура предприятия построена по линейно-функциональному принципу: служба охраны труда подчинена главному инженеру, цеховой персонал – технологическому диспетчеру. Основные технологические операции включают синтез, очистку и фасовку реактивов. Линейные потоки материалов и готовой продукции автоматизированы на 65 %, остальная часть процессов требует ручного вмешательства при подготовке оборудования и контроле параметров реакций.

В штате предприятия задействовано 14 операторов реакционных установок, из которых 5 имеют стаж менее одного года. Система обучения персонала включает вводный и целевой инструктажи, периодические аттестации по безопасности (раз в полугодие). Предприятие функционирует в условиях повышенных техногенных рисков, связанных с использованием химических реагентов, работой под давлением и температурой.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы – провести анализ условий труда на химико-фармацевтическом производственном объекте и разработать научно обоснованные мероприятия по оптимизации трудовых процессов для снижения вероятности чрезвычайных ситуаций (ЧС) и производственного травматизма.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследования:

- Дать характеристику основным понятиям и законодательным требованиям в области техносферной безопасности и охраны труда на производственных предприятиях.
- Провести анализ текущего состояния организации труда на исследуемом предприятии, включая оценку технического, организационного и психофизиологического факторов.
- Идентифицировать и классифицировать потенциальные опасности и риски, связанные с трудовыми процессами и эксплуатацией производственного оборудования.
- Оценить эффективность действующих мероприятий по обеспечению безопасности труда и защите персонала в чрезвычайных ситуациях.
- Разработать предложения по совершенствованию системы организации труда и техносферной безопасности с учетом современных методов управления рисками.
- Сформировать методические рекомендации по внедрению предложенных мероприятий.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методология исследования базируется на системном анализе системы «человек – оборудование – среда». Для сбора и обработки данных использовался комплекс взаимодополняющих методов:

1. Документальный анализ: изучение технологических карт, инструкций по охране труда, журналов регистрации инструктажей и актов расследования инцидентов.

2. Инструментальные измерения: фиксация параметров производственной среды на рабочих местах с использованием калиброванных приборов в соответствии с требованиями системы стандартов безопасности труда (ССБТ) и санитарно-эпидемиологических правил [4].

3. Хронометраж операций: анализ временных затрат для выявления потерь рабочего времени и оценки напряженности труда методом баланса рабочего времени.

4. Социогуманитарное исследование: анкетирование персонала для выявления субъективных факторов стресса, усталости и удовлетворенности условиями труда.

5. Метод анализа видов и последствий отказов (FMEA): количественная оценка профессиональных рисков, где приоритетное число риска (RPN) рассчитывается по формуле (1):

$$RPN = P \times S \times D, \quad (1)$$

где P – вероятность возникновения опасности (1–5 баллов), S – серьезность последствий (1–5 баллов), D – вероятность обнаружения опасности до наступления инцидента (1–5 баллов) [5].

6. Статистические методы обработки данных:

– вычисление выборочных средних ($\bar{x}$), стандартных отклонений ($\bar{\sigma}$) и коэффициентов вариации (V);

– проверка гипотез о различии средних с применением двухвыборочного t -критерия Стьюдента (2):

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}; \quad (2)$$

– корреляционно-регрессионный анализ для выявления взаимосвязей между параметрами условий труда и показателями безопасности.

Достоверность различий принималась при уровне значимости $\alpha \leq 0,05$. Визуализация результатов осуществлялась посредством построения гистограмм, диаграмм рассеяния и круговых диаграмм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Количественная оценка профессиональных рисков

На основе экспертной оценки ключевых опасностей химико-фармацевтического производства рассчитаны значения приоритетных чисел риска (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты FMEA-анализа профессиональных рисков

Опасность	Вероятность (P)	Серьезность (S)	Детектируемость (D)	RPN	Уровень риска
Разлив реактива при перекачке	4	5	3	60	Высокий
Перегрев реактора (отказ охлаждения)	3	5	2	30	Средний
Ошибка дозирования (человеческий фактор)	5	4	4	80	Высокий
Пожар в зоне фасовки ЛВЖ	2	5	3	30	Средний
Травма при переналадке оборудования	4	3	5	60	Высокий

Примечание. Шкала оценки 1–5 баллов; пороговые значения: $RPN < 30$ – низкий риск, 30–59 – средний, ≥ 60 – высокий. Источник: составлено автором.

Среднее значение RPN по выборке составило 52,0, максимальное – 80 (ошибка дозирования). Выявлено, что 60 % идентифицированных опасностей относятся к категории высокого риска, что требует приоритетного внедрения корректирующих мер.

Статистический анализ производительности и напряженности труда

Анализ текущего состояния организации труда выявил ряд системных проблем. Средняя часовая производительность оператора в синтетическом цехе составляет 1,2 условной единицы, при этом коэффициент использования рабочего времени не превышает 0,78 при плановом значении 0,85. Удельный вес простоев в смене достигает 18 %, основными причинами которых являются переналадка оборудования (7 %) и ожидание сырья (6 %).

Для оценки эффективности организационных изменений проведен сравнительный анализ производительности операторов (таблица 2).

Таблица 2 – Статистические характеристики производительности операторов (усл. ед. / ч)

Параметр	До мероприятий	После мероприятий (прогноз)
Среднее значение ($\bar{x}$)	1,166	1,452
Стандартное отклонение ($\bar{\sigma}$)	0,139	0,104
Коэффициент вариации (V), %	11,9	7,2
Объем выборки (n)	50	50

Расчетное значение t -критерия Стьюдента составило $t = 11,555$ при $p < 0,001$, что свидетельствует о статистически значимом различии средних значений. Снижение коэффициента вариации с 11,9 до 7,2 % указывает на повышение стабильности производственных показателей.

Корреляционный анализ выявил сильную прямую зависимость между коэффициентом напряженности труда (X) и частотой регламентных ошибок (Y):

$$r = 0,996; p < 0,001; R^2 = 0,992. \quad (3)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,992$ означает, что 99,2 % дисперсии частоты ошибок объясняется изменением уровня напряженности труда. Данная зависимость аппроксимируется линейной регрессионной моделью:

$$Y = 12,4X - 5,8. \quad (4)$$

Анализ структуры причин инцидентов

По результатам внутреннего аудита за отчетный период частота регистрируемых инцидентов составила 3,2 случая на 100 работников в год. Структура причин представлена на рисунке 1 (составлено по данным внутреннего аудита 2025 г.), где человеческий фактор (нарушение инструкций, усталость, недостаточная квалификация) составил 56 %; неудовлетворительное состояние ограждений и защитных устройств – 28 %; нарушение регламентов приборного контроля – 16 %.

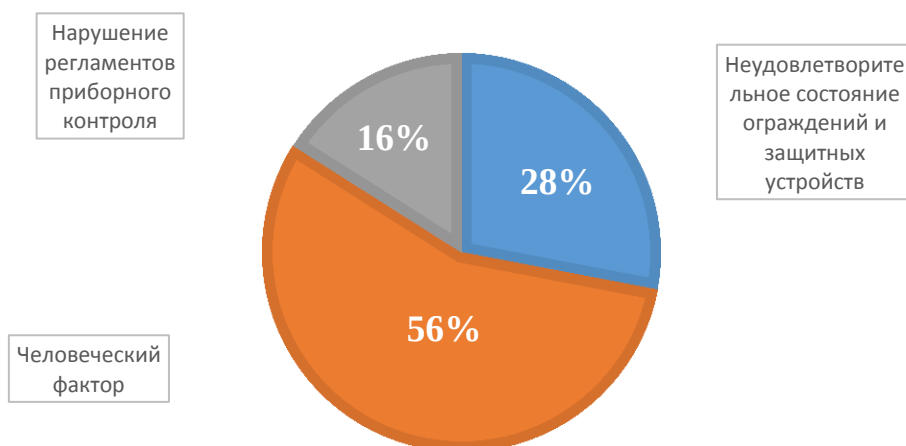


Рисунок 1 – Структура причин производственных инцидентов на химико-фармацевтическом предприятии

Разработка мероприятий по совершенствованию системы безопасности

На основе выявленных проблем разработан комплекс мероприятий, базирующийся на принципах иерархии мер безопасности [7].

Организационные мероприятия:

- оптимизация сменности: внедрение ротации персонала для минимизации монотонности и разработка скользящего графика с учетом динамики усталости – на основе формулы (4);
- компетентностный профиль: внедрение обязательной сертификации по модулям «Техника расследования аварийных ситуаций» и тренинга «Первая помощь при химических отравлениях»;
- информационный обмен: создание цифровой платформы для оперативного доклада об отклонениях.

Инженерно-технические мероприятия:

- эргономическая модернизация: оснащение рабочих мест регулируемыми столами и стульями, установка датчиков вибрации и шума с интеграцией в систему автоматического отключения;
- автоматизация контроля: внедрение систем видеомониторинга с аналитикой движения в опасных зонах, использование RFID-идентификации для исключения ошибок при переключении режимов [8];
- повышение огнестойкости: применение материалов с классом огнестойкости не ниже EI 60 и установка клапанов взрывного сброса давления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование подтверждает возможность повышения эффективности производства путем совершенствования методов организации труда на предприятиях химико-фармацевтической отрасли. Применение математических методов (FMEA-анализ, t -критерий Стьюдента, корреляционно-регрессионное моделирование) позволило количественно обосновать приоритетные направления корректирующих мероприятий.

Анализ условий труда показал, что, несмотря на наличие систем охраны труда, уровень рисков остается повышенным из-за износа оборудования и недостаточной подготовки персонала. Статистически значимая связь между напряженностью труда и частотой ошибок $R^2 = 0,992$ подтверждает необходимость эргономической оптимизации рабочих мест.

Реализация предложенного комплекса организационно-технических мер позволит привести условия труда в соответствие с нормативными требованиями и снизить экономические потери от аварийности. Гармоничное сочетание технических средств защиты, эргономической оптимизации и непрерывного обучения персонала является ключевым фактором обеспечения устойчивого функционирования производственной среды.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку алгоритмов интеграции цифровых двойников для моделирования аварийных сценариев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ли, В. В. Оценка рисков в чрезвычайных ситуациях на промышленных объектах / В. В. Ли // Безопасность жизнедеятельности. – 2021. – № 1. – С. 45–52.
2. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 15.11.2025).
3. Иванов, С. П. Техносферная безопасность: теория и практика / С. П. Иванов. – Изд. 2-е. – Санкт-Петербург: Питер, 2018. – 304 с.
4. ГОСТ 12.0.230.5–2018. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Методы оценки риска для обеспечения безопасности выполнения работ

[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200160465> (дата обращения: 03.04.2026).

5. Козлов, И. Н. Модели управления техногенными рисками / И. Н. Козлов. – Новосибирск: Наука, 2017. – 215 с.

6. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Пособие по организации аварийно-спасательных работ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 15.01.2024).

7. ГОСТ Р 12.0.003–2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 2017–01–01. – Москва: Стандартинформ, 2015.

8. Хаустов, Ю. Н. Анализ и оптимизация труда на промышленных предприятиях / Ю. Н. Хаустов, Е. В. Черникова. – Москва: РИОР, 2015. – 180 с.

9. Шмаков, А. Ю. Методы повышения производительности труда на машиностроительных предприятиях // Вестник экономики труда. – 2020. – № 2. – С. 12–18.

OPTIMIZATION OF LABOR ORGANIZATION AND TECHNOSPHERE SAFETY MANAGEMENT AT CHEMICAL AND PHARMACEUTICAL ENTERPRISES

P. I. Shorokhov, 3rd-year student
E-mail: zaraza1921@yandex.ru
Bunin Yelets State University

K. A. Polyakova, Senior lecturer
E-mail: kristina-seva@yandex.ru
Bunin Yelets State University

R. Yu. Polyakov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
E-mail: polyakov_emk@mail.ru
Bunin Yelets State University

The article presents a comprehensive analysis of labor processes organization at chemical and pharmaceutical industry enterprises in the aspect of ensuring technosphere safety. The relevance of the study is due to the specifics of the industry, where the combination of chemical reagents, complex technological equipment, and the human factor creates increased risks of accidents. The aim of the work was to develop measures to reduce industrial injuries using the example of a medium-scale chemical and pharmaceutical production. The study employed professional risk assessment methods (FMEA), instrumental measurements of production environment parameters, and operation timing. Statistical analysis of productivity was conducted using Student's t-test and correlation-regression modeling of the relationship between labor tension and error frequency. It was revealed that the key problems are the high proportion of downtime, deviation from time standards, and insufficient staff training for emergency response. A complex of organizational and technical measures has been proposed, including ergonomic modernization of workplaces, access control automation, and implementation of a staff rotation system. Implementation of the proposed measures will reduce the frequency of incidents and improve the level of personnel protection during technological operations.

Keywords: labor protection, risk assessment, labor organization, industrial injuries, FMEA analysis, statistical data processing.