

УДК 661.5:628.517.2:338.436.33

Технико-экономическое обоснование применения современных шумозащитных технологий в спиртоперерабатывающей отрасли

Гущина Дарья Владимировна^(*) smirnova-daria771@yandex.ru
SPIN-код: 8392-9811

Савельев Анатолий Петрович tbsap52@mail.ru

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева», Саранск, Россия

Аннотация. Настоящая статья посвящена решению задачи снижения шумового загрязнения на предприятиях по переработке спирта. Выполнено технико-экономическое обоснование применения современных шумозащитных технологий. Проведена классификация источников шума и оценка их интенсивности. Предложены варианты конструкторско-технологических решений по шумоподавлению с использованием современных звукоизолирующих материалов. Произведен расчет экономической эффективности от внедрения данных мероприятий, включающий оценку предотвращенного ущерба здоровью работников и сокращения выплат страховых взносов. Определены оптимальные сценарии инвестирования в защиту от шума, обеспечивающие соблюдение санитарных норм с минимальным сроком окупаемости.

Ключевые слова: шумозащита, спиртоперерабатывающая отрасль, технико-экономическое обоснование, охрана труда, производственный шум, экономическая эффективность

Technical and economic justification for the use of modern noise-reducing technologies in the alcohol processing industry

Gushchina Darya Vladimirovna^(*) smirnova-daria771@yandex.ru
SPIN-код: 8392-9811

Savelyev Anatoly Petrovich tbsap52@mail.ru

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

Abstract. This article aims to address the issue of reducing noise pollution at alcohol processing enterprises. It provides a technical and economic justification for the use of modern noise-reducing technologies. The article classifies noise sources and assesses their intensity. It also proposes design and technological solutions for noise reduction using modern sound-absorbing materials. The article calculates the economic benefits of implementing these measures, including the assessment of the prevented damage to workers' health and the reduction of environmental fees. Optimal investment scenarios for noise protection have been identified to ensure compliance with sanitary standards with a minimum payback period.

Keywords: noise protection, alcohol processing industry, feasibility study, occupational safety, industrial noise, and economic efficiency

Введение. Предприятия спиртоперерабатывающей отрасли являются значительными источниками производственного шума, оказывающего негативное воздействие как на персонал, так и на окружающую среду. Заводы оснащены мощным технологическим оборудованием, совокупная работа которого создает эквивалентные уровни звука на рабочих местах, достигающие 95...105 дБА, что значительно превышает допустимые нормативы (80 дБА согласно СанПиН 1.2.3685–21). Негативные последствия шумового воздействия носят системный характер. Для персонала длительное воздействие интенсивного шума приводит к развитию профессиональной нейросенсорной тугоухости, сердечно-сосудистых заболеваний, нарушению сна и снижению концентрации внимания [1]. Последнее обстоятельство повышает риск травматизма на 15...20 %.

Работы по снижению шума являются важной задачей направленной на сохранение здоровья и продление периода активной деятельности работников.

Материалы и методы. *Современные шумозащитные технологии в спиртоперерабатывающей отрасли.* Традиционные методы шумоподавления — кожухи из листового металла, облицовка стен минеральной ватой — либо недостаточно эффективны в агрессивной среде (пары спирта, высокая влажность), либо быстро теряют свои свойства, требуя частой замены. Экономическая привлекательность таких решений низка.

Существует множество современных материалов и конструкций для создания благоприятной акустической среды в производственных помещениях [2]. При выборе звукопоглощающих материалов для производства важно учитывать несколько ключевых аспектов: 1) тип шума и его источник; 2) уровень шума; 3) особенности рабочего пространства и производственных процессов.

В последние годы значительное развитие получили многослойные звукопоглощающие конструкции, которые за счет комбинирования слоев с различными акустическими свойствами (пористое поглощение, отражение, демпфирование) позволяют достичь снижения шума на 25...40 дБА в широком частотном диапазоне [3,4]. Принцип работы звукопоглощающих конструкций основан на их способности поглощать звуковые волны и преобразовывать их в тепловую энергию. Это достигается за счет специальной структуры материалов, которая включает в себя пористую или перфорированную поверхность, способную поглощать и рассеивать звуковые волны.

Многослойные звукопоглощающие конструкции — эффективное решение для снижения производственного шума в спиртоперерабатывающей отрасли. Они сочетают несколько слоев материалов с разными акустическими свойствами, что позволяет поглощать звук в широком диапазоне частот и снижать его распространение в производственных помещениях [2, 5].

В настоящей статье рассматривается разработанная авторами многослойная звукопоглощающая конструкция, состоящая из внешнего шумопоглощающего перфорированного слоя со сквозной перфорацией и наружного слоя без перфорации. Между внешним и внутренним слоем расположено два звукопоглощающих слоя: резонатор в виде взаимно перевернутых конусообраз-

ных ячеек и пористый звукопоглощающий материал. К внешнему перфорированному слою на клеевой основе крепится защитная пленка [1].

Результаты. *Технико-экономическая эффективность внедрения звукопоглощающей конструкции в цехе спиртоперерабатывающего предприятия.* Оценить экономическую составляющую, связанную с социальным эффектом весьма затруднительно, так как для этого необходимы стоимостные зависимости состояния здоровья от повышенного уровня шума [6].

Другим отрицательным воздействием повышенного производственного шума является снижение производительности труда работников.

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}$ (тыс. р./год) от шумозащитных мероприятий определяется по формуле

$$\mathcal{E} = P - Z, \quad (1)$$

где P — годовой экономический результат от мероприятий по борьбе с шумом, тыс. р./год; Z — годовые приведенные затраты на осуществление мероприятий по борьбе с шумом, тыс. р./год.

Годовой экономический результат от мероприятий по борьбе с шумом P определен по выражению

$$P = K_{\text{ш}} P_{\text{фп}} + P_{\text{тар}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{ш}}$ — коэффициент повышения производительности труда, зависящий от уровня снижения шума и времени выполнения технологической операции с участием работника; $P_{\text{фп}}$ — годовой экономический результат отдельного производственного цеха исследуемого предприятия, тыс. р./год; $P_{\text{тар}}$ — экономия средств предприятия на выплатах страховых взносов в СФР за счет снижения дополнительных тарифов, тыс. р./год.

Годовые приведенные затраты на осуществление мероприятий по борьбе с шумом Z определяются по формуле

$$Z = C + E_{\text{н}} K, \quad (3)$$

где C — годовые эксплуатационные расходы на содержание звукопоглощающих конструкций, тыс. р./год; $E_{\text{н}}$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; K — капитальные вложения на реализацию шумозащитных мероприятий, тыс. р.

Экономическая эффективность капитальных вложений в мероприятия по борьбе с шумом определяется сроком их окупаемости T , годы:

$$T = K / (P - C). \quad (4)$$

Годовой экономический результат $P_{\text{фп}}$ в цехе розлива готовой продукции ООО ЛВЗ «Саранский» за 2026 год составит 11 745,4 тыс. руб.

Для определения годового экономического результата от шумозащитных мероприятий P необходимо определить количественные характеристики коэффициента повышения производительности труда $K_{\text{ш}}$.

По результатам исследований известны следующие зависимости производительности труда от уровня шума [7] (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость производительности труда от уровня шума

Уровень звука, дБ	75	80	85	90	95
Производительность, %	100	96	90	80	70

Используя метод интерполяции, определим уровень производительности для фиксированных значений эквивалентного уровня звука в цехе до и после шумозащитных мероприятий, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

Уровень производительности труда в цехе для фиксированных значений эквивалентного уровня звука до и после шумозащитных мероприятий

Цех розлива готовой продукции	Эквивалентный уровень звука, дБ		Уровень производительности, %		Коэффициент повышения производительности труда $K_{\text{шн}}$, %
	до внедрения шумозащитных мероприятий	после внедрения шумозащитных мероприятий	до внедрения шумозащитных мероприятий	после внедрения шумозащитных мероприятий	
	92,6	79,6	82,3	95,5	

Специфика производства ликеро-водочной продукции предполагает, что весь технологический период оператор выполняет технологический процесс, находясь в непосредственном контакте с технологическим оборудованием [8]. Эффективное рабочее время составляет 7 часов.

Тогда фактический коэффициент повышения производительности труда $K_{\text{ш}}$ определится по выражению

$$K_{\text{ш}} = K_{\text{пш}} \cdot T_{\text{ф}} / T_{\text{р.дн}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{ф}}$ — фактическое время выполнения технологических операций с непосредственным участием работников, ч; $T_{\text{р.дн}}$ — продолжительность рабочего дня, ч.

Время выполнения технологических операций с участием работников определится выражением 6.

$$T_{\text{ф}} = T_{\text{р.д.}} - T_{\text{СГО}}, \quad (6)$$

где $T_{\text{СГО}}$ — продолжительность санитарно-гигиенической обработки в пересчете на продолжительность рабочего дня.

Анализ технологических процессов позволил установить количественные характеристики времени на санитарно-гигиеническую обработку помещений $T_{\text{СГО}}$.

В соответствии с утвержденной программой на предприятии санитарно-гигиеническая обработка проводится в конце каждого рабочего дня в течении одного часа с остановкой производства. Кроме того 10, 20 и 30 числа каждого месяца проводится генеральная уборка в течении трех часов с остановкой производства. В пересчете на один рабочий день время на санитарно-гигиеническую обработку составит 1,3 ч.

Количественные характеристики составляющих для определения коэффициента повышения производительности и значения самого коэффициента $K_{ш}$ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Количественные характеристики коэффициента производительности $K_{ш}$ в цехе розлива готовой продукции ООО ЛВЗ «Саранский» и его составляющие

Цех розлива готовой продукции	$T_{сго}, ч$	$T_{ф}, ч$	$T_{ф}/T_{р.д}$	$K_{шш}, \%$	$K_{ш}$
	1,3	5	0,62	13,2	8,25

Годовой экономический результат от мероприятий по борьбе с шумом P , в цехе розлива готовой продукции составил 1572,5 тыс. р./год

Что касается расчета экономической эффективности капитальных вложений в мероприятия по борьбе с шумом мы исходили из годового экономического результата полученного цехом розлива готовой продукции.

С учетом экономии средств предприятия на выплатах страховых взносов в СФР (777,6 тыс. р.) годовой экономический результат мероприятий по борьбе с шумом составит 2350,1 тыс. р.

Годовые эксплуатационные расходы на содержание звукопоглощающих конструкций C , складываются из затрат на проведение периодической санитарно-гигиенической обработки, включающие в себя стоимость санитарно-гигиенических средств и самой обработки. Стоимость санитарно-гигиенической обработки в цехе розлива готовой продукции составила 31,22 тыс.р./год.

Поверхность санитарно-гигиенической обработки после реализации мероприятий с шумом увеличилась на 30 %, а затраты с учетом дополнительной трудоемкости обрабатываемой поверхности (потолка) составят 40 % от сложившихся в ООО ЛВЗ «Саранский» в 2025 г.

Годовые эксплуатационные расходы на содержание звукопоглощающих конструкций C в цехе розлива готовой продукции составят 10,8 тыс. р./год.

Капитальные вложения на реализацию шумозащитных мероприятий складываются из стоимости комплектующих элементов звукопоглощающего подвесного потолка, стоимости базовых образцов многослойной звукопоглощающей конструкции и затрат на доведение ее до опытной конструкции (примерно 300 % от базовых образцов) и стоимости работ по монтажу звукопоглощающего подвесного потолка (табл. 4).

Нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений E_n принят равной банковской ставке кредитования $E_n = 0,18$.

Таблица 4

**Исходные данные и стоимость капитальных затрат К
на шумозащитные потолки**

Подразделение	Площадь подвесного потолка, м ²	Стоимость базовых образцов шумозащитной конструкции, тыс. р.	Стоимость капитальных вложений, К, тыс. р.
Цех розлива готовой продукции	663	40,00	757,876

С учетом полученных составляющих годовой экономический эффект равен:

$$\mathcal{E} = 1572,5 - 147,2 = 1425,3 \text{ тыс. р.}$$

Срок окупаемости мероприятия по борьбе с шумом в цехе розлива готовой продукции равен

$$T = 757,876 / (2350,1 - 10,8) = 0,3 \text{ года.}$$

Таким образом, экономический эффект от внедрения многослойных звукопоглощающих конструкций в цехе розлива готовой продукции составляет 1425,3 тыс.р. со сроком окупаемости 0,3 года.

Заключение. Техничко-экономический анализ показал, что внедрение звукопоглощающих конструкций экономически целесообразно и может привести к снижению затрат на обеспечение комфортных условий труда и уменьшению рисков, связанных с воздействием шума на здоровье работников.

Список источников

- [1] Гущина Д.В. Разработка шумопоглощающей конструкции для цеха розлива алкогольной продукции. *Конкурс науч.-исслед. работ (Конкурс НИР). Молодежная программа 28-ой Междунар. специализированной выставки-форума: сб. тр.* Москва, Ассоциация «СИЗ», 2025, с. 120–123. EDN: UGSKHC
- [2] Гущина Д.В., Савельев А.П. Обоснование требований к шумопоглощающей конструкции для цеха розлива ООО «ЛВЗ "Саранский"». *Акустика среды обитания. IX Всерос. конф. молодых ученых и специалистов: матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, с. 135–142. EDN: KRNIMJ
- [3] Савельев А.П., Скворцов А.Н., Еналеева С.А. Звукозащитные конструкции с допустимыми санитарно-гигиеническими свойствами для работников АПК. *Совершенствование путей профилактики производственных рисков, динамического снижения и ликвидации травматизма и заболеваемости работников АПК. Междунар. науч.-практ. конф.: сб. тр.* Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2017, с. 106–110. EDN: XYCWYX
- [4] Савельев А.П., Гущина Д.В. Исследование акустической эффективности сотовой звукопоглощающей конструкции. *Сельский механизатор*, 2025, № 6, с. 42–44. <https://doi.org/10.47336/0131-7393-2025-6-42-43-44>

-
- [5] Радоуцкий В.Ю., Шульженко В.Н., Степанова М.Н. Современные звукопоглощающие материалы и конструкции. *Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова*, 2016, № 6, с. 76–79.
 - [6] Захаров А.Г., Аношкин А.Н., Паньков А.А., Писарев П.В. Акустические резонансные характеристики двух и трехслойных сотовых звукопоглощающих панелей. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника*, 2016, № 46, с. 144–159. <https://doi.org/10.15593/2224-9982/2016.46.08>
 - [7] Тюрина Н.В., Бобровских В.П. Новые методики расчета эффективности акустических экранов. *Защита от повышенного шумового воздействия. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч.: сб. докл.* Анапа, ИННОВА, 2015, с. 323–325.
 - [8] Савельев А.П., Гущина Д.В. Снижение уровня звукового давления в цехе розлива ООО «ЛВЗ “Саранский”» путем шумопоглощения. *Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Междунар. науч.-практ. конф., посв. 70-летию П.В. Сенина: матер.* Саранск, Мордовский гос. ун-т им. Н.П. Огарева, 2024, с. 496–503. EDN: AWGCYX