УДК 534.4, 6-8

Моделирование акустических показателей для комнат отдыха локомотивных бригад с применением мультифрактальной сенсорной стимуляции

Щиголь Богдан Игоревич(*) zdravolog@gmail.com
Кирикова Ольга Викторовна ovkirikova@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Локомотивные бригады подвергаются значительному психофизиологическому напряжению, что приводит к необходимости регулярного качественного восстановления. Акустическая среда в местах отдыха, обеспечивающая такое восстановление, играет решающую роль в этом процессе. Предлагается интегрированный подход к моделированию акустики такого рода помещений, включающий в себя традиционный анализ в сочетании с мультифрактальной сенсорной стимуляцией (МФСС). Это позволяет осуществлять оптимизацию звукового ландшафта с целью усиления адаптационных возможностей вегетативной нервной системы (ВНС).

Ключевые слова: Акустическое моделирование, комнаты отдыха, локомотивные бригады, мультифрактальная сенсорная стимуляция, адаптация, звуковой ландшафт, психоакустика

Modeling acoustic performance for locomotive crew rest rooms using multifractal sensory stimulation

Schigol Bogdan Igorevich(*) zdravolog@gmail.com
Kirikova Olga Viktorovna ovkirikova@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. Locomotive crews are subjected to significant psychophysiological stress, which leads to the need for regular quality recovery. The acoustic environment in recreation areas, which ensures such restoration, plays a crucial role in this process. An integrated approach to modeling the acoustics of such rooms is proposed, which includes traditional analysis combined with multifractal sensory stimulation (MFSS). This makes it possible to optimize the soundscape in order to enhance the adaptive capabilities of the autonomic nervous system (ANS)

Keywords: Acoustic modeling, rest rooms, locomotive crews, multifractal sensory stimulation, adaptation, soundscape, psychoacoustics

Введение. Эффективность локомотивных бригад напрямую зависит от качества отдыха. Накопление утомления из-за стресс-факторов снижает работоспособность. Акустический комфорт является фундаментальным элементом среды восстановления, тогда как шум и неблагоприятная реверберация пре-

пятствуют нормализации ВНС и усиливают стресс. МФСС представляет собой запатентованный метод генерации персонализированных аудиовизуальных стимулов с мультифрактальными характеристиками, повышающих адаптивность ВНС. Эффективность аудиостимуляции существенно зависит от акустической среды, поскольку взаимодействие МФСС с шумами и акустикой помещения формирует итоговое звуковое воздействие. Цель исследования — разработка методологии акустического моделирования комнат отдыха с учетом специфики МФСС для создания оптимального звукового ландшафта, максимизирующего положительный физиологический эффект.

Методы и материалы. Комнаты отдыха локомотивных бригад, как правило, располагаются вблизи железнодорожных путей или в зданиях вокзалов и депо, что обуславливает специфический акустический фон. Доминирующими источниками шума являются внешние (движение поездов, маневровые работы, системы оповещения) и внутренние (вентиляция, бытовое оборудование, разговоры). Высокий и переменный уровень шума создает дискомфорт, усиливает стрессовую нагрузку и затрудняет восстановительные процессы нервной системы.



Рис. 1. Схема комнаты с источниками шума

На акустику влияют геометрия и свойства поверхностей. Стандартная отделка часто не оптимизирована, вызывая избыточную реверберацию. Время реверберации (T60) — важный параметр. Высокий T60 (гулкость) мешает вос-

приятию и релаксации. Для отдыха рекомендуются низкие T60 (0,3…0,6 с) [1]. На практике значения выше. В итоге акустика комнат отдыха — комплекс шума и неоптимальных свойств помещения, препятствующий восстановлению и создающий нагрузку. Необходим поиск решений, формирующих благоприятный звуковой ландшафт. МФСС является таким решением.

Таблица 1

Типичные источники шума в комнатах отдыха локомотивных бригад

Источник шума	Примерный уровень звукового давления, дБА	Характер шума
Проходящий поезд (вблизи)	80–100+	Импульсный, широкополосный
Маневровые работы	70–90	Переменный, импульсный
Станционные объявления	65–80	Речь, прерывистый
	35–55	Стационарный, широкополосный
Разговоры в коридоре / смежных комнатах	50–65	Переменный, речевой

Таблица 2

Значения типичных и рекомендуемых акустических параметров для комнат отдыха

Акустический параметр	Типичное значение	Рекомендуемое значение	Влияние на комфорт и ВНС
Уровень фонового шума, дБА	45–60+	< 30–35	Мешает отдыху, активирует стресс
Время реверберации T60, с	0,6–1,2+	0,3–0,6	Гудкость, дискомфорт, когнитивная нагрузка

***Мультифрактальная сенсорная стимуляция* (*МФСС*).** МФСС — запатентованная технология повышения адаптации организма? основанная на персонализированных аудио/видео рядах по физиологическим показателям (ВСР). Физиологически МФСС балансирует ВНС [2, 3], способствуя саморегуляции.

С акустической точки зрения, ключевое — мультифрактальный аудиосигнал. Его отличие — сложная, многомасштабная структура. Мультифрактальность проявляется в сложной временной динамике, широком, но структурно организованном спектре и масштабной инвариантности. Эти характеристики важны для положительного воздействия. В отличие от простых звуков, мультифрактальные поддерживают «здоровую» сложность восприятия, снижая когнитивную нагрузку и способствуя релаксации. Они ближе к звукам природы.

Аудиосигнал может воспроизводиться через наушники или систему в помещении. Взаимодействие сигнала с акустикой комнаты (шумом, реверберацией) формирует конечный звуковой ландшафт. Это требует акустического моделирования.

Моделирование акустических показателей с учетом применения МФСС. Для эффективности МФСС в реальной комнате нужно оценить и оптимизировать среду. Цель моделирования — исследовать взаимодействие акустики помещения, шума и звукового поля МФСС. Моделирование прогнозирует итоговый звуковой ландшафт и критически важно для:

- оценки маскирования шума МФСС;
- оценки влияния реверберации на мультифрактальность сигнала;
- прогнозирования звукового поля МФСС;
- оптимизации акустики комнаты и параметров воспроизведения МФСС.

Методология включает создание геом. модели, задание свойств поверхностей, характеристик шума и источника МФСС. Используются спец. программы на основе геом. акустики (лучевая трассировка) или волновых методов. (Краткое описание метода).

Результаты — акустические показатели в точках помещения. Особый интерес — интерпретация результатов с точки зрения влияния на психоакустическое восприятие и физиологию.

Результаты. Анализ результатов выявил, как шум и реверберация влияют на «чистоту» МФСС. В необработанных комнатах сигнал искажается, а маскирование шума неэффективно. Моделирование оценивает эти эффекты.

Ключевой результат — возможность моделирования и оценки формирования желаемого звукового ландшафта. Моделирование прогнозирует, как будет восприниматься акуст. картина: доминирование шума или комфортный, структурированный фон от МФСС. При оптимальной акустике и уровне МФСС, соотношение сигнал/шум улучшается, снижается негативное восприятие шума, а сигнал МФСС воспринимается четко, способствуя релаксации.

Моделирование позволяет анализировать, как специфические акустические характеристики мультифрактального аудио изменяются в комнате. Это связано с психоакустическим восприятием (громкость, тембр, пространственность) [4, 5]. Известна корреляция психоакустики с физиологией (низкая «шероховатость» → расслабление). Моделирование предсказывает эти параметры и позволяет интерпретировать влияние на ВНС. В оптимизированной комнате мультифрактальный сигнал сохраняет свойства, способствуя активации парасимпатики и адаптации.

Результаты моделирования — мост между акустикой и психофизиологией. Они позволяют оптимизировать пассивные и активные решения, чтобы конечный стимул был благоприятен для восстановления.

Обсуждение. Подход к моделированию комнат отдыха с МФСС демонстрирует потенциал для создания физиологически ориентированных сред. Новизна — использование мультифрактальных сигналов как активного эле-

мента и междисциплинарная интеграция (акустика, психоакустика, физиология, ИТ) (Q6 = 5). Моделирование показало, что оптимизация среды необходима для полной реализации потенциала МФСС. Ограничение — моделирование является симуляцией и требует экспериментальной валидации. Будущие исследования — натурные измерения, оценка ВНС, развитие моделей для динамической адаптации.



Рис. 2. Схема связи моделирования, восприятия и физиологии

Таблица 3

Обобщенные результаты акустического моделирования и их интерпретация

Сценарий	Уровень шума	T60	Восприятие шума	Звуковой ландшафт	Влияние на ВНС (интерпр.)
1. Типовая комната	Высокий	Высокое	Раздражающий	Хаотичный	Негативное
2. Типовая + МФСС (без оптимизации)	Высокий	Высокое	Част. маскир.	Искаженный на фоне шума	Ограниченное
3. Оптимальная комната + МФСС	Сниженный	Оптимальное	Снижен.	Комфортный, структурированный	Положительное

Заключение. Акустическая среда комнат отдыха локомотивных бригад нуждается в целенаправленной оптимизации для восстановления. Акустиче-

ское моделирование с учетом МФСС — мощный инструмент для этого. Оно позволяет оценить формирование звукового ландшафта. Оптимизация среды на основе моделирования критически важна для создания условий, способствующих адаптации ВНС, через улучшенное психоакустическое восприятие. Применение МФСС в таких помещениях открывает новые перспективы для отдыха и здоровья операторов.

Список источников

[1] Суворов Г.А., Шкаринов Л.Н., Денисов Э.И. *Гигиеническое нормирование производственных шумов и вибраций*. Москва, Медицина, 1984, 240 с.

[2] Mikita G. Study of Vegetative Reactions of Egyptian and Ugro-Finnic Groups under the Influence of Alternating Magnetic Field Effects and Different Climatic and Geographical Conditions. International Journal of Psychosocial Rehabilitation, 2020, vol. 24, pp. 3226–3256. https://doi.org/10.37200/IJPR/V24I3/PR2020348

[3] Mikita G.I. Neurophysiological models of neural networks. *Нейрокомпьютеры*: *разработка*, *применение*, 2021, т. 23, № 1, с. 81–91.

[4] Шиголь Б.И., Микита Г.И., Нгуен Тхань Ан. Исследование воздействий широкополосного шума на эргономические показатели человека-оператора в системе человек-машина. *Акустика среды обитания*. VIII *Всерос*. *конф*. *молодых ученых и специалистов*: *матер*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, с. 290–295.

[5] *Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024685030, 2024.