

УДК 504:064.3

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ СОЧЕТАННОГО ВЛИЯНИЯ ШУМА И ДРУГИХ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

© 2012 А.В. Васильев

Самарский научный центр Российской академии наук

Поступила в редакцию 20.11.2012

Шум является одним из значительных факторов негативного воздействия на человека и окружающую среду. При этом совместное воздействие шума и других физических факторов на человека может привести к усилению негативного воздействия. Представлены результаты анализа особенностей сочетанного воздействия шума и других физических факторов на здоровье человека. Предложены подходы к определению и оценке интегрального показателя функционального состояния человека во взаимосвязи с интегральным показателем физических факторов среды.

Ключевые слова: шум, физические факторы, здоровье, сочетанное воздействие, оценка

1. ВВЕДЕНИЕ

Шум является одним из значительных факторов негативного воздействия шума на человека и окружающую среду. По оценкам ряда исследователей [5, 7, 11 и др.], в настоящее время воздействию повышенных уровней шума подвергается каждый второй житель планеты. Эквивалентные уровни звука в таких городах как Париж, Рим, Нью-Йорк, Мехико, Москва, достигают 75-80 дБА. При этом городской шум имеет тенденцию к росту. Уровень шума в городах возрастает ежегодно в среднем на 0,5-1,0 дБА в год [5]. Эта тенденция сохраняется, несмотря на ужесточение норм к средствам транспорта. Воздействие повышенных уровней шума (как прямое – на орган слуха, так и опосредованное – через высшие регуляторные системы) вызывает нарушение нервной и сердечно-сосудистой систем, органов пищеварения, нарушение регуляции мозгового кровообращения и др.

В процессе жизнедеятельности человек, как правило, подвергается одновременному воздействию не только шума, но и других факторов, что обуславливает необходимость проведения различного вида исследований по оценке их комбинированного влияния на организм.

В настоящей статье обсуждаются результаты анализа особенностей сочетанного влияния шума и других физических факторов на здоровье человека и подходы к определению и оценке интегрального показателя функционального состояния человека во взаимосвязи с интегральным показателем физических факторов среды.

2. АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ШУМА И ДРУГИХ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Проведем анализ особенностей сочетанного воздействия шума и других физических факторов на здоровье человека.

Андрей Витальевич Васильев, доктор технических наук, профессор, научный руководитель отдела инженерной экологии и экологического мониторинга при Президиуме Самарского научного центра РАН. E-mail: avassil62@mail.ru

Результаты исследования механизмов одновременного действия шума и других физических факторов на организм и методические подходы к их сочетанной оценке представлены в ряде работ отечественных и зарубежных авторов. Некоторые из них посвящены оценке функционального состояния человека во взаимосвязи с воздействующими факторами, в отдельных работах сделана попытка представить в качестве критерия комплексной оценки показатели здоровья и риска его нарушения; в некоторых - отражена методология комплексной оценки функционального состояния организма.

В работах [1, 3, 9, 19, 20] указано, что, совместное действие шума и нагревающего микроклимата приводит к более значительным изменениям функционального состояния человека и снижению его работоспособности, чем воздействие каждого из них. Одновременное действие нагревающего микроклимата и шума на уровне выше ПДУ сопровождается большим увеличением заболеваемости с временной утратой трудоспособности по классу болезней органов кровообращения (гипертоническая болезнь) [3]. Тепловое воздействие на работников операторского труда, сочетающееся с действием других производственных факторов, проявляется также в большем снижении внимания при решении поставленных задач, а также изменении чувствительности слухового анализатора.

Исследования, выполненные в микроклиматической камере [3], в которой моделировались различные условия деятельности операторов, показали, что в диапазоне температуры воздуха 23-28°C (оптимальные и допустимые ее значения применительно к выполнению работ 1-ой категории) и шума 65-80 дБА временные смещения порогов слуха (ВСП) на частоте 1000 Гц зависят только от уровня шума. Это влияние на второй минуте после воздействия шума выражается уравнением:

$$ВСП_2 = 4,7 + 1,2 \cdot X_1, \quad (1)$$

где X_1 – условная величина шума (для 65 дБА это -1, а для 80 дБА – это +1); $ВСП_2$ – ВСП слуха для

частоты 1кГц на 2-ой минуте после воздействия шума (в дБА).

Большая величина ВСП слуха для этой же частоты (1 кГц) была зарегистрирована при более интенсивных воздействиях шума (80-95 дБА; X_1) и температуры воздуха (28-33°C; Y_1), при этом отмечался значительный (независимый) вклад обоих факторов. Так, величина ВСП снижалась в процессе восстановления более чем вдвое, величина же вклада факторов изменялась незначительно:

$$\text{ВСП}_{2'} = 12,0 + 4,6X_2 + 2,2Y_2, \quad (2)$$

$$\text{ВСП}_{15'} = 4,7 + 3,3X_2 + 1,8Y_2, \quad (3)$$

$$\text{ВСП}_{30'} = 5,9 + 3,5X_2 + 2,3Y_2, \quad (4)$$

где $\text{ВСП}_{2'}$, $\text{ВСП}_{15'}$, $\text{ВСП}_{30'}$ – соответственно ВСП для слуха на частоте 1 кГц через 2, 15 и 30 минут после воздействия шума и термической нагрузки среды.

Из уравнений (2)-(4) можно видеть, что через 30 минут после воздействия максимальных значений факторов (X_2 и Y_2) величина ВСП слуха составляет 11,7 дБ, из которых 7,1 дБ связаны с увеличением шума (с 80 до 95 дБА), а 4,6 - с увеличением температуры воздуха (с 28 до 33°C).

Под влиянием шума (65 - 80 дБА) и температуры воздуха (23 - 28°C) наблюдалось увеличение диастолического артериального давления (ДАД), при этом зарегистрировано влияние как каждого из факторов, так и их совместного действия:

$$\text{ДАД}_{30} = 3,4X_1 \cdot Y_1; \quad (5)$$

$$\text{ДАД}_{60} = 3,2Y_1 + 3,4X_1 \cdot Y_1. \quad (6)$$

Систолическое артериальное давление (САД) при тридцатиминутном воздействии первого диапазона факторов зависело от уровня шума, по истечении же 60 минут был отмечен их совместный положительный вклад:

$$\Delta \text{САД} = 2,2X_1 + 2,3X_1 \cdot Y_1, \quad (7)$$

где $\Delta \text{САД}$ – сдвиг систолического артериального давления в % к уровню до начала воздействия.

На уровень частоты сердечных сокращений (ЧСС) в диапазоне шума 65- 80 дБА и температуры воздуха 23-28°C оказывает влияние преимущественно последняя:

$$\text{ЧСС}_{60} = 4,6 + 5,1 \cdot Y_1, \quad (8)$$

где ЧСС_{60} – сдвиг частоты сердечных сокращений на 60-ой минуте воздействия в % к исходному уровню.

Величина ЧСС во втором диапазоне воздействующих факторов (80-95 дБА и 28-33°C) также зависела только от температуры воздуха. Критическая частота световых мельканий (КЧСМ) под влиянием факторов с уровнем первого диапазона снижалась на 3-7%, второго – на 6-10%.

Время простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР) увеличивалось при воздействии факторов обоих диапазонов, особенно второго. При этом отмечено как суммарное влияние факторов, так и каждого из них в отдельности:

$$\text{ПЗМР}_{\text{в1}} = 18,4 + 6,8X_2 + 6,6Y_2 + 7,6X_2 \cdot Y_2, \quad (9)$$

где $\text{ПЗМР}_{\text{в1}}$ – сдвиг в % к исходному уровню на 17-ой минуте после прекращения действия факторов.

Показатель самочувствия человека (балл) также определяется совместным действием факторов:

$$C = -4,8 - 4,5X_1 \cdot Y_1, \quad (10)$$

где C – величина сдвига показателя самочувствия в % к исходному уровню.

Одновременное увеличение шума и температуры воздуха ведет к снижению показателя самочувствия. Согласно результатам расчетов [1], независимо от уровня шума, увеличение температуры воздуха на 5°C ведет к росту ВСП слуха на 4,4 дБ, а независимо от $t_{\text{в}}$, увеличение уровня шума на 5 дБ повышает величину ВСП слуха на 3 дБ.

Несколько иной характер носит изменение латентного времени ПЗМР под влиянием шума и термической нагрузки среды. Так, воздействие шума на уровне 80 дБА ослабляет эффект влияния повышения температуры воздуха (до 28°C), равно как и последнее уменьшает эффект влияния увеличения уровня шума (\approx на 2 %). При более высоких величинах воздействующих факторов их суммарное неблагоприятное действие усиливается. При этом, чем выше $t_{\text{в}}$, тем быстрее идет нарастание сдвига ПЗМР с увеличением уровня шума. Соответственно увеличивается и вклад температуры воздуха при наличии шумового фактора. Так, при температуре воздуха 35°C повышение уровня шума с 80 до 100 дБА усиливает неблагоприятный эффект более, чем в 6 раз. То же происходит при уровне шума 100 дБА и повышении $t_{\text{в}}$ с 28 до 35°C.

Результаты анализа заболеваемости с временной утратой трудоспособности (ВУТ) в ткацком производстве, на котором рабочие подвергаются одновременному воздействию различной интенсивности шума и термической нагрузки среды, показали, что сочетанное воздействие обоих факторов на уровне $98 \pm 1,7$ дБА и $26,0 \pm 0,3$ °C обуславливает наибольшее число случаев заболеваемости органов кровообращения.

Результаты изменений средней частоты сердечных сокращений и температуры поверхности кожи при действии тепла и шума [19] свидетельствуют о возможной взаимосвязи физиологических реакций, обусловленных действием шума (сужение сосудов) и тепла (расширение сосудов), увеличении биологических усилий для мобилизации системы терморегуляции в условиях шума. Авторы [19] отмечают весьма важный факт негативного одновременного воздействия тепла и звука на эффективность и напряженность труда операторов в пределах допустимых величин каждого из факторов, что свидетельствует о необходимости установления безопасных их уровней с учетом сочетанного воздей-

ствия. Одновременное воздействие шума и вибрации вызывает более выраженную вазоконстрикцию в сосудах пальцев рук [18, 19].

По данным [16] физические факторы среды (шум и электромагнитные поля промышленной частоты {ЭМП ПЧ}) при совместном воздействии могут вызывать разнонаправленные изменения в различных органах и системах у животных, которые, в зависимости от уровня и продолжительности действия каждого фактора, могут ослаблять или усиливать системный ответ. Комплексное воздействие ЭМП ПЧ с высоким уровнем магнитной индукции и шума средних уровней угнетает активность ферментов ЦТК в митохондриях головного мозга и печени крыс по сравнению с интактными животными.

Действие ЭМП ПЧ с низким уровнем магнитной индукции и высокими уровнями шума на крыс приводит к увеличению скорости процессов дегидрирования в ЦТК митохондрий головного мозга и печени.

Воздействие шума и ЭМП ПЧ сопровождается клеточными преобразованиями в лимфоидных органах (тимусе и селезенке) крыс. Общими изменениями в тимусе и селезенке являются появление тканевых базофилов с дегрануляцией и лимфоцитов с признаками пикноза. Указывается [19], что в связи с термогенным действием микроволн при обосновании предельно-допустимых уровней электро-магнитных излучений (ЭМИ) для профессиональных работников следует учитывать температуру окружающей среды. Отмечено, что повышение температуры воздуха даже в пределах климатического комфорта сопровождается усилением термогенной активности ЭМИ.

Выявлено [11], что на развитие патологии значимо влияет воздействие вибрации в сочетании с холодом. Роль последнего заметна, например, в группах вальщиков леса, затрачивающих больше времени (до двух часов) на поездку на работу в не обогреваемом транспорте. Например, частота "побеления" пальцев по анкетным данным составила $21,3 \pm 1,6$ %. Установлен высокий удельный вес вибрационной патологии в начальной стадии и нарушений слуховой функции у вальщиков леса.

Для изучения эффектов сочетанного действия вибрации и шума на организм был проведен двухфакторный (вибрация 121 и 127 дБ, шум 80 и 100 дБ) эксперимент. Математическая обработка полученных результатов позволила установить вклад уровня шума в изменение порогов слуховой и вибрационной чувствительности, а также влияние уровней вибрации и шума на процесс восстановления этих показателей. Полученные данные указывают на существенную роль фактора шума в развитии изменений не только слу-

ховой, но и вибрационной чувствительности при сочетанном действии двух факторов, вклад которого в величину смещения порогов вибрационной чувствительности составил 23,5 %. Влияние уровня вибрации на величину ВСП слуха было статистически малозначимым, однако, оно сказывалось в замедлении процесса восстановления порогов слуха.

Вибрация значительно (в среднем в 1,5 – 2,0 раза) усиливает неблагоприятное влияние транспортного шума на физиологические показатели (в частности, КЧСМ) населения. Отмечено, более выраженное напряжение адаптационных реакций организма. Наибольшее количество жалоб на совместное действие шума и вибрации зарегистрировано среди лиц, страдающих заболеваниями нервной и сердечно-сосудистой системы. На основании исследования выявляемости кардио- и цереброваскулярной патологии лиц, подвергающихся воздействию шума и вибрации, обнаружено, что она в два раза выше, чем в популяции.

Комбинированное воздействие шума и вибрации вызывает большее увеличение потоотделения с ладони, чем каждый из этих факторов [1]. В наибольшей степени эффект выражен у лиц, имеющих большую чувствительность к вибрации или шуму. Одновременное воздействие вызывает более выраженную вазоконстрикцию в сосудах пальцев. Известно, что ладонное потоотделение контролируется симпатическими холинэргическими волокнами и может считаться как индекс симпатических реакций. 70% пациентов с вибрационным синдромом страдает ладонным гипергидрозом, и их симпатическая система может находиться в стадии возбуждения. Операторы ручных инструментов подвергаются воздействию как вибрации, так и шума. При этом реакции на вибрацию и шум, действующие совместно, более выражены, чем при действии одной лишь вибрации. Лица, которые более значительно реагировали на шум, также выражено реагировали и на вибрацию, и еще более интенсивно на их одновременное воздействие. Следует отметить, что по данным ряда авторов эффект на комбинированное воздействие проявляется и в случае, когда реакции на раздельное действие шума и вибрации незначительны.

По мнению автора, чрезмерное напряжение реакций терморегуляции приводит к более раннему проявлению нарушений функционального состояния периферической гемодинамики при относительной сохранности показателей нервно-рецепторного аппарата. Продолжение воздействия холода и вибрации приводит к более выраженным проявлениям ангиодистонии в артериальном русле, явлениям венозного застоя, проявляющимся нарушением трофики на верх-

них конечностях. На смену приступов “белых пальцев” приходят приступы “синих пальцев”, присоединяются невротические и мышечные расстройства.

По данным Шпагиной Л.Н., 2004 г., прогнозируемый риск развития вибрационной болезни при воздействии локальной вибрации с превышением ПДУ на 1-10дБ, с долевым вкладом физического перенапряжения, равным 2, охлаждающего микроклимата – 1,2; шума – 1,04, почти в 2 раза выше риска развития вибрационной болезни при изолированном воздействии вибрации.

По данным [17] совместное действие локальной вибрации, шума и низкой температуры снижает поглощение механической энергии. В наибольшей степени это имеет место при частотах ниже 40 Гц и более 125 Гц. Однако, не доказано, коррелирует ли поглощение энергии с развитием вибрационной патологии.

Оценка биологического эффекта воздействия трех физических факторов: шум, вибрация, нагревающий микроклимат дана в работе [15]. Автором работы [11] показан синергизм в реакциях организма на шум и тепло и антагонизм в действии вибрационного и теплового факторов. Данные свидетельствуют о методической сложности оценки сочетанного воздействия факторов, поскольку биологический эффект не является алгебраической суммой независимых между собой воздействий. В работе [11] автор ставит вопрос о возможности использования неспецифических реакций различных функциональных систем организма в качестве показателя чувствительности организма к комбинированному действию физических факторов производственной среды (шум, вибрация, нагревающий микроклимат). Делается вывод, что устойчивость организма к комбинированному действию указанных выше факторов как система является нелинейной, поскольку не подчиняется принципу суперпозиции, т.е. реакция системы не выражается в виде алгебраической суммы независимых между собой воздействий. Это означает, что без проведения факторного и кластерного анализа построение уравнений множественной регрессии представляется не вполне корректным, принимая во внимание также, что единицы измерения одних факторов (температура) – линейные, а других (шум, вибрация) – логарифмические. Использование адекватных математических методов позволяет выявить характер и направленность различных физиологических реакций при комбинированном воздействии на человека физических факторов, а также значимость адаптации к ним с позиций разработки дифференцированных норм.

Большее увеличение порога слуха, обусловленное повышением уровня общей вибрации и

интенсивности шума, наблюдается при повышении окружающей температуры воздуха (30°C). Это можно связать с изменением циркуляции крови во внутреннем ухе.

По результатам эпидемиологических исследований выявлена большая распространенность артериальной гипертензии и других факторов риска развития ишемической болезни сердца (гиперхолестеринемия, избыточная масса тела) у мужчин, работающих в газоперерабатывающей промышленности и подвергающихся действию комплекса неблагоприятных факторов: интенсивный производственный шум, значительная напряженность труда, высокая температура воздуха, сероводород в сочетании с диоксидом серы и углеводородами.

В статье [4] делается попытка подойти к комплексной оценке условий труда, исходя из суммы баллов соответствующих степеней вредности каждого фактора: вибрация, шум, пыль, температура воздуха, скорость движения воздуха, загрязненность воздушной среды (СО акромин, СО керосин). Определялся интегральный показатель факторов среды. Установлена его тесная корреляционная взаимосвязь с показателями заболеваемости с временной утратой трудоспособности (ЗВУТ) (число болевших лиц (Y_1), дни нетрудоспособности). Изучена ЗВУТ 1603 круглогодичных рабочих (619 мужчин и 984 женщины), стаж работы 13,9-17,6 лет. Приведены уравнения линейной регрессии, количественно отражающие эту взаимосвязь.

Степень вредности факторов определяли двумя способами: по наиболее жесткой оценке всех рабочих мест (B_{max}), а также по среднеарифметическому значению показателей и среднеквадратическому отклонению. При этом учитывали статистическое распределение степеней по всем трем классам, а класс ниже нормы считали нулевым. Для расчета среднего значения индекса умножили долю (относительно 1) рабочих мест с превышением ПДК и ПДУ в пределах данного класса на его индекс, принимая для случая ниже нормы 1, 2, 3 степеней вредности, значения индексов 0, 1, 2, 3 соответственно. Сложение 4-х компонентов составляющих давало среднее значение степени.

Критериями оценки негативного влияния факторов окружающей среды являются интегральные показатели здоровья, отражающие причинно-следственную связь между их воздействием и реакцией организма. Одним из них является репродуктивное здоровье.

Такие факторы физической природы, как шум и электромагнитные излучения, играют значительную роль в формировании антропогенной нагрузки в промышленном городе; имеется прямая зависимость между их уровнями и распрост-

раненностью заболеваний (нервно-психическая сфера, заболевания системы кровообращения, органов зрения и др.) [8].

В результате системного математического анализа экспериментальных данных рассчитан индекс функционального напряжения организма человека (ИФН), который количественно характеризует суммарный биологический ответ на воздействующие неблагоприятные факторы. При сочетанном воздействии на организм человека токсичных веществ и нагревающего микроклимата, вызывающего развитие допустимого теплового состояния, ИФН был меньше, чем сумма индексов при изолированном влиянии тех же факторов, то есть взаимного усиления эффектов не наблюдалось. При сочетанном влиянии на организм человека токсичных веществ и нагревающего микроклимата, вызывающего развитие предельного теплового состояния, величины ИФН были больше, чем сумма индексов при изолированном влиянии тех же факторов, т.е. имеет место увеличение суммарного биологического ответа в основном за счет влияния теплового фактора.

На основе факторного анализа получен интегральный показатель – индекс функционального напряжения (ИФН) организма. Индекс функционального напряжения для изолированного и сочетанного действия на организм обследуемых СО и нагревающего микроклимата рассчитывали на основе данных 6-ти функциональных показателей, которые выбраны в результате предварительно выполненного дискриминантного анализа и являются наиболее информативными:

$$\text{ИФН} = 0,0218 \cdot X_1 + 0,7366 \cdot X_2 + 0,0162 \cdot X_3 + 0,051 \cdot X_4 + 0,3395 \cdot X_5 - 0,243 \cdot X_6, \quad (11)$$

где X_1 – соответственно прирост частоты сердечных сокращений;

X_2 – прирост ректальной температуры;

X_3 – прирост латентного времени простой сенсорной реакции (ПСМР);

X_4 – прирост концентрации карбоксигемоглобина в крови (Н в СО);

X_5 – прирост активности лактатдегидрогеназы (ЛДГ);

X_6 – прирост “объема памяти”.

Согласно мнению авторов работы [19], отдельные факторы в их совместном действии, даже, если их величины не выходят за пределы допустимых, оказывают неблагоприятное влияние на самочувствие и эффективность выполняемой работы. В связи с этим, необходим критический подход к регламентации нагрузки факторов при их комплексном действии. Тепловая нагрузка, начиная с 30°C приводит к существенному снижению эффективности труда при уровне шума в диапазоне 85-95 дБА. Особенно это влияло на сенсорные реакции, причем звуковое воздействие в

снижении эффективности труда имело доминирующее значение. Однако, выбор доминирующего действия фактора при комбинированном воздействии не всегда очевиден. Хотя увеличение неблагоприятного эффекта имеет место, но причинно-следственная связь требует в каждом конкретном случае своего обоснования.

Воздействие шума (85-95 дБА) при температуре воздуха приблизительно 24°C (комфортный уровень) приводило к снижению частоты сердечных сокращений (ЧСС), но вследствие тепловой нагрузки ЧСС увеличивалась. При температуре воздуха до 30°C реакция ЧСС по данным в работе [19] зависела от уровня звукового давления, когда оно было выше, чем 75 дБ. При температуре воздуха 40°C наблюдалось преобладающее действие тепловой нагрузки.

Влагодотери человека определяются тепловой нагрузкой. Звуковая нагрузка вызывает снижение температуры кожи при комфортной температуре воздуха (24°C).

Под влиянием тепла температура кожи увеличивается. Фактически, температура воздуха определяет степень повышения температуры кожи при действии смешанных нагрузок. Но, поскольку шум вызывает сужение сосудов, а тепло – расширение, следует предположить биологические усилия организма для мобилизации системы терморегуляции в условиях воздействия шума.

Обнаружено дополнительное влияние температуры воздуха на порог слышимости. Показано [19], что вследствие одновременного воздействия тепла и звука очевидное негативное влияние на эффективность и напряженность труда операторов происходит уже в пределах допустимых величин каждого из них. Указанное означает, что во избежание выраженного напряжения физиологических реакций работающих, должны быть дополнительно установлены безопасные уровни для каждого фактора с учетом их сочетанного действия.

Таким образом, имеющиеся в литературе данные указывают на:

- возможность неблагоприятного влияния различных производственных факторов на функциональное состояние человека и состояние здоровья при их комплексном воздействии на организм;
- возможное усиление эффекта неблагоприятного влияния каждого из факторов при их сочетанном воздействии (шум и тепло; вибрация и шум; шум, тепло и химические вещества и др.);
- необходимость снижения ПДК и ПДУ некоторых из физических факторов при условии их совместного действия;
- отсутствие адекватного метода прогностической оценки и нормирования комплекса факторов, воздействующих на организм человека.

3. ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ И ОЦЕНКЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С ИНТЕГРАЛЬНЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ

Рассмотрим результаты реализации методического подхода к определению и оценке интегрального показателя функционального состояния человека (ФСЧ) во взаимосвязи с интегральным показателем физических факторов среды (ФФС). Это может быть осуществлено на основе взаимосвязи одномерной многопараметрической характеристики системного ответа организма ($L_{\text{сост}}$) и одномерной многопараметрической характеристики внешней среды ($L_{\text{ср}}$). При этом $L_{\text{сост}} = L_{\text{ср}}$. На основе применения канонического корреляционного анализа установлено, что существует тесная взаимосвязь совокупности показателей ФСЧ с совокупностью параметров внешней среды ($\rho = 0.82$; $p < 0,05$). Соответствующая данному коэффициенту канонической корреляции модель имеет следующий вид:

$$-0,19 \cdot y_1 - 0,19 \cdot y_2 - 0,09 \cdot y_3 + 0,06 \cdot y_4 - 0,42 \cdot y_5 - 0,14 \cdot y_6 + 0,13 \cdot y_7 - 0,01 \cdot y_8 - 0,61 \cdot y_9 - 0,76 \cdot y_{10} - 0,61 \cdot y_{11} = 0,38 \cdot x_1 + 0,17 \cdot x_2 - 0,93 \cdot x_3 - 0,08 \cdot x_4, \quad (12)$$

где: $x_1 - x_4$ – факторы среды (шум, общая вибрация, температура воздуха, освещённость);

$y_1 - y_4$ – психофизиологические показатели (ПЗМР, тейпинг-тест, численно-буквенный тест, КЧСМ);

$y_5 - y_8$ – показатели кардиореспираторной системы (ЧСС и др.);

$y_9 - y_{11}$ – показатели терморегуляторных реакций.

Коэффициенты перед показателями характеризуют факторную нагрузку и указывают на вклад каждого из первичных показателей в выявленную многомерную взаимосвязь показателей ФСЧ с ФФС. Модель построена для нормированных значений первичных показателей. Их средние значения по всей выборке равны 0, дисперсия равна 1.

Как следует из модели, наибольшие весовые нагрузки в формировании ФСЧ имеют показатели $y_9 - y_{11}$, характеризующие состояние терморегуляторных механизмов, а также y_5 (ЧСС). Это обусловлено наибольшим влиянием температурного фактора (x_3), весовая нагрузка которого (0,93) превышает “вес” x_1 (0,38), x_2 (0,17) и x_4 (0,08). Как видно из уравнения 13, факторные нагрузки температуры воздуха и шума имеют противоположные знаки, что согласуется с описанным выше различным характером изменения ряда физиологических реакций при их воздействии.

В целях формализованной оценки ФСЧ и ФФС разработаны вероятностные номограммы (рис. 1). Для этого формулы вычисления интег-

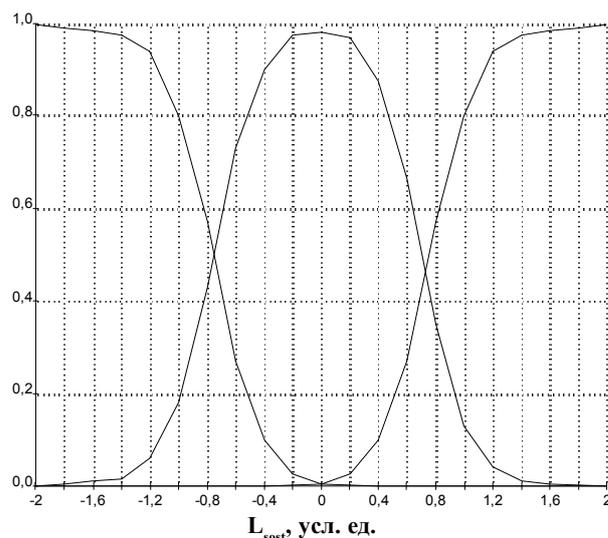


Рис. 1. Вероятностная номограмма прогнозирования функционального состояния человека, подвергающегося воздействию комплекса физических факторов:
 --- P_1 ; — P_2 ; - - - P_3

ральных показателей ФСЧ ($L_{\text{сост}}$) и ФФС ($L_{\text{ср}}$) были приведены к ненормированным первичным показателям:

$$L_{\text{сост}} = 6,907 - 0,0175 \cdot Q_{\text{э.т.}} - 0,115 \cdot T_0 - 1,321 \cdot \Delta Q_{\text{т.с.}} + 0,0114 \cdot \text{АДД} + 0,00956 \cdot \text{АДС} - 0,0316 \cdot \text{ЧСС} + 0,00909 \cdot \text{ЧД} - 0,0144 \cdot \text{ПЗМР} - 0,0792 \cdot \text{КЧСМ} + 0,00266 \cdot T_t + 0,00384 \cdot \text{БЧТ}; \quad (12)$$

$$L_{\text{ср}} = 2,509 + 0,025 \cdot \text{Ш} + 0,252 \cdot \text{ОВ} - 0,182 \cdot t_{\text{в}} - 0,0465 \cdot \text{Осв}. \quad (13)$$

Важной практической задачей является классификация и прогнозирование функционального состояния человека, работающего в неблагоприятных условиях. Классификация ФСЧ проводилась на основе разработанного показателя системного ответа организма ($L_{\text{сост}}$). Классы выделялись путём установления сигмальных границ отклонения от среднего значения для всей выборки указанного интегрального показателя. Выделено три класса (P_1, P_2, P_3) физических факторов среды и функционального состояния человека. Соответствующие им значения первичных показателей приведены в табл. 1 и 2.

Правило оценки функционального состояния человека состоит в следующем: по уравнению (12) вычисляется интегральный показатель ($L_{\text{сост}}$). Его величина наносится на ось абсцисс рис. 1. Из полученной точки восстанавливается перпендикуляр до пересечения с границами классов (P_1, P_2, P_3). Точки пересечения проецируются на ось ординат, по которой определяется вероятность идентификации каждого из трех классов ФСЧ. Решение принимается по максимальной из полученных вероятностей.

Таблица 1. Первичные показатели различных классов физических факторов среды

Класс	Шум, дБА	Общая вибрация, м/с ²	Температура воздуха, °С	Освещенность, лк	Интегральный индекс, Лфс
1	65	0,86	30	2,4	-1,2
2	68	1,00	24	3,4	-0,0465
3	76	1,13	18,6	2,0	1,228

Таблица 2. Первичные показатели различных классов функционального состояния человека

Класс	Qэ.т., Вт/м ²	Теплоощущение, балл	? Qт.с., кДж/кг	ЧСС, уд./мин	АДД, мм рт.ст.	АДС, мм рт.ст.	ЧД, 1/мин	ПЗМР, мс	Б-Ч тест
1	84	5,4	1,94	79	91	124	19	265	117
2	68	4,2	0,57	75	84	122	18	242	128
3	53	3,1	-0,94	67	84	126	16	234	124

Например, при величине $L_{\text{сост}} = -1$ усл. ед., вероятность идентификации уровня ФСЧ, соответствующего верхней границе допустимого (класс P_1) составляет 0,8; а оптимального (класс P_2) - 0,2. Поскольку максимальная вероятность соответствует классу P_1 , то принимается решение, что функциональное состояние данного человека (или группы лиц) соответствует верхней границе допустимого (на период рабочей смены).

Таким образом, предложенный метод оценки ФСЧ позволяет учесть “размытость” границ между функциональными состояниями соседних классов.

По уравнению 13 можно решать и другие задачи, в частности, в какой степени возможно изменить ФСЧ за счет варьирования уровней физических факторов среды. Например, в упомянутой выше ситуации не представляется возможным оптимизировать температуру воздуха. В какой же степени улучшится ФСЧ, если уровень шума снизится до 55 дБА, общая вибрация до 0,2 м/с², а освещенность составит 3 лк. Решая уравнение 5.18, получаем, что величина $L_{\text{ср}}$ в этом случае составит - 0,94 усл. ед. Это означает, что с вероятностью 0,7 функциональное состояние может быть отнесено ко 2-му классу, с вероятностью 0,2 - к первому и 0,1 - к третьему классу. Таким образом, ФСЧ будет несколько улучшено, но для его оптимизации необходимо снижение температуры воздуха. Безусловно, представленные уравнения для интегральной оценки функционального состояния человека, в том числе по показателям факторов среды, адекватны конкретной ситуации. Используемый же математический метод может быть применен и для решения более широкого круга гигиенических задач.

Очевидно, что вклад физических факторов внешней среды в формирование функционального состояния человека неодинаков. Необходимо их ранжирование по степени влияния на функциональное состояние человека. Для комплексной оценки влияния физических факторов среды (шум, общая вибрация, температура воздуха,

освещенность) на функциональное состояние человека разработана модель, связывающая всю совокупность показателей функционального состояния человека со всей совокупностью показателей физических факторов среды.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Шум оказывает значительное негативное воздействие на здоровье населения. При этом совместное воздействие шума и других физических факторов на человека может привести к усилению негативного воздействия.

Результаты проведенного анализа подтверждают, что физические факторы среды (шум, общая вибрация, электромагнитные поля, температура воздуха, освещенность) могут вызывать разнонаправленные реакции со стороны различных, функциональных систем организма. Комплексное воздействие их в зависимости от уровня каждого может усиливать или ослаблять системный ответ организма.

Рассмотрены подходы к определению и оценке интегрального показателя функционального состояния человека во взаимосвязи с интегральным показателем физических факторов среды.

Показано, что на основе вероятностных номограмм может быть осуществлено прогнозирование функционального состояния организма по его интегральному показателю и интегральному показателю факторной нагрузки среды учетом “размытости” границ между соседними классами функционального состояния человека.

Полученные результаты могут быть широко использованы для решения ряда актуальных проблем, в том числе:

- для решения гигиенических задач, касающихся оценки и нормирования комплекса физических факторов;
- для получения достоверной информации о характере и видах воздействия шума на здоровье населения урбанизированных территорий в со-

четании с другими физическими факторами;

- для разработки и внедрения комплекса мероприятий по снижению шума и других физических факторов в зонах с наиболее высокими уровнями физических факторов.

Результаты работы могут быть применены в условиях урбанизированной территории для анализа воздействия шума и других физических факторов на здоровье населения.

Работа выполнена при поддержке гранта РГНФ, региональный конкурс 2012 г. «Волжские земли в истории и культуре России», проект «Фундаментальные основы оценки и прогнозирования воздействия шума на человека в условиях урбанизированных территорий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьева Р.Ф.* Сочетанное действие факторов производственной и окружающей сред на организм человека (аналитический обзор) // Бюллетень научного совета "Медико-биологические проблемы работающих". 2005. №2. С. 58-70.
2. *Афанасьева Р.Ф., Суворов Г.А., Антонов А.Г., Бобров А.Ф., Лосик Т.К., Соколов С.Н.* Прогнозирование теплового состояния человека при воздействии комплекса факторов // Медицина труда и промышленная и экология. 2000. № 2. С. 9 с.
3. *Бабаян М.А., Денисов Э.И.* Сочетанное действие шума, тепла и оценка их биологической эквивалентности. // Гигиена труда и профзаболевания. 1991. № 9. С.24 - 26.
4. *Баличева Д.В.* Комплексная оценка условий труда рабочих виброопасных профессий // Гигиена труда и профзаболевания. 1992. № 3. С.20 - 23.
5. *Васильев А.В.* Анализ шумовых характеристик селитебной территории г. Тольятти. // Экология и промышленность России. 2005. №4. С. 20-24.
6. *Васильев А.В.* Мониторинг физических полей урбанизированных территорий: современные подходы, проблемы, перспективы // Известия Самарского научного центра РАН. Специальный выпуск "ELPIT-2005". 2005. Т.1. С. 111-118.
7. *Васильев А.В., Лифиренко Н.Г., Костина Н.В., Розенберг Г.С.* Шумовое загрязнение и его оценка как факторы риска заболеваемости населения // Сборник трудов X Всероссийского конгресса "Экология и здоровье человека", г. Самара, 11-13 октября 2005 г. С.49-51.
8. *Дунаев В.Н., Быстрых В.В., Боев В.М.* Вклад физических факторов в комплексную антропогенную нагрузку промышленного города // Гигиена и санитария. №6. 1998. С. 58-61.
9. *Жученко И.П.* Влияние микроклимата, тяжести труда и тепловой устойчивости организма на допустимую длительность работы человека. // Медицина труда и промышленная экология. 1993. № 3- 4. С. 17-18.
10. *Зверева Г.С., Ратнер М.С., Колганов А.В. и др.* Обоснование допустимого уровня шума в сочетании с повышенной температурой окружающей среды. // Гигиена труда и профзаболевания. 1977. № 9. С.41-43.
11. *Ластков Д.О.* Физиолого-гигиеническая оценка комбинированного воздействия на горнорабочих локальной вибрации, шума, нагревающего микроклимата // Медицина труда и промышленная экология. 1998. № 4. С. 4- 8.
12. *Слоим А.Д.* Экологическая физиология человека. М, 1971. 448 с.
13. *Суворов Г.А., Афанасьева Р.Ф., Бобров А.Ф. и др.* Оценка влияния физических факторов на функциональное состояние человека, выполняющего умственную работу // Медицина труда и промышленная экология. 1997. № 2. С. 19 - 26.
14. *Суворов Г.А., Афанасьева Р.Ф., Пальцев Ю.П. и др.* Регламентация физических факторов: итоги и перспективы // Медицина труда и промышленная экология. 1998. № 6. С. 26 - 35.
15. *Суворов Г.А., Афанасьева Р.Ф., Антонов А.Г., Бобров А.Ф., Лосик Т.К., Соколов С.Н.* Прогнозирование теплового состояния человека при воздействии комплекса факторов // Медицина труда и промышленная экология. 2000. № 2. С. 1-8.
16. *Худиницкий С.С., Мурзенко П.П., Бокуть Т.Б. и др.* Изучение совместного влияния шума и электромагнитных полей на животных в условиях эксперимента. // Сб. тезисов докладов Международной конференции "Медицина труда в 3-ем тысячелетии". 23-25 июня 1998 г. М., 1998. С. 55.
17. *Burstrom L.* The influence of noise and temperature on the absorption of vibration energy in the hand // Archives of Complex Environmental Studies 7(3-4): 1995. P.91-95.
18. *Manninen O.* Increased loss of hearing due to combined noise and low frequency vibration. // 28-th Int. Congress of Physiological Sciences, 13-19 July 1980. Budapest.
19. *Rentzsch M., Presher W., Weinrich W.* Combined effect of selected parameters of climate and noise on labour efficiency and stain // In book: Combined effects of environmental factors. Edit. by O. Manninen. 22-25 September, 1984 Tampere. Finland. Pp. 99-115.
20. *Sakakibara H., Kondo T., Koike Y. et al.* Combined effects of vibration and noise palmar sweating in healthy subjects // Europ. J. of Applied Physiology (1989) 59. Pp. 195-198.

PROBLEMS OF ESTIMATION OF JOINT INFLUENCE OF NOISE AND OTHER PHYSICAL FACTORS ON THE HUMAN'S HEALTH

© 2012 A.V. Vasilyev

Samara Scientific Center of Russian Academy of Science

Noise is one of significant factors of negative influence to the man and to environment. Joint impact of noise and of other physical pollutions to the man may cause amplification of it negative impact. Results of analysis of peculiarities of joint impact of noise and of other physical factors to the man's health are submitted. Approaches to determination and estimation of integral value of functional state of man in correlation with integral value of physical factors of the medium are suggested.

Key words: noise, physical factors, health, joint impact, estimation.

Andrey Vasilyev, Doctor of Technics, Professor, Scientific Head at the Engineering Ecology and Environmental Monitoring Department of Presidium of Samara Scientific Center, RAS. E-mail: avassil62@mail.ru