

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-4-238-246>

УДК 613.65; 613.865; 613.867

© Коллектив авторов, 2022

Новожилова А.А.¹, Герегей А.М.¹, Меркулова А.Г.^{1,2}**Особенности исследования профессионального утомления в физиологии труда**¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», пр-т Будённого, 31, Москва, 105275;²ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), ул. Трубецкая, 8/2, Москва, 119991

Развитие профессионального утомления является одной из основных причин увеличения риска аварийности и травматизма на рабочих местах. Состояние утомления негативно влияет на здоровье работников и качество их профессиональной деятельности. Проблема исследования профессионального утомления обусловлена различными подходами к определению данного понятия и выбору методов оценки.

Цель исследования — анализ особенностей исследования профессионального утомления в физиологии труда.

С целью анализа основных подходов к исследованию профессионального утомления проанализированы отечественные и зарубежные литературные источники, описывающие как ранние, так и современные работы по данной тематике. Сложность оценки профессионального утомления определяет необходимость комплексного подхода к подбору методов из области физиологии, психофизиологии и психологии, комбинации объективных и субъективных методов. Важно учитывать ограничения данных методов, которые могут быть связаны со спорной интерпретацией данных, особенностями производственной среды, требованиями профессии и безопасности труда, поэтому вопрос выбора универсальных методов остаётся актуальным и требует дальнейшей проработки.

Ключевые слова: профессиональное утомление; работоспособность; методы оценки утомления; умственное утомление; физическое утомление

Для цитирования: Новожилова А.А., Герегей А.М., Меркулова А.Г. Особенности исследования профессионального утомления в физиологии труда. *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(4): 238–246. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-4-238-246>

Для корреспонденции: Новожилова Анастасия Александровна, мл. науч. сотр. ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова». E-mail: ppe-lab@irioh.ru

Участие авторов:

Новожилова А.А. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста, редактирование;

Герегей А.М. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование;

Меркулова А.Г. — написание текста, редактирование.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 16.12.2021 / Дата принятия к печати: 25.01.2022 / Дата публикации: 25.05.2022

Anastasiya A. Novozhilova¹, Andrei M. Geregei¹, Anastasiya G. Merkulova^{1,2}**Features of studying occupational fatigue in labor physiology (literature review)**¹Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonnogo Ave., Moscow, 105275;²I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 8/2, Trubetskaya str., Moscow, 119991

The development of occupational fatigue is one of the main reasons for the increased risk of accidents and injuries in the workplace. The state of fatigue negatively affects the health of employees and the quality of their professional activities. As for the problem of studying professional fatigue, there are different approaches to the definition of this concept and the choice of assessment methods.

The study aims to analyze the features of the study of occupational fatigue in the labor physiology.

In order to analyze the main approaches of professional fatigue, we have studied domestic and foreign literary sources describing both early and modern works on this topic. The complexity of assessing professional fatigue determines the need for an integrated approach to the selection of methods from the field of physiology, psychophysiology and psychology, a combination of objective and subjective methods. It is important to take into account the limitations of these methods, which may associate with a controversial interpretation of the data, the peculiarities of the production environment, the requirements of the profession and occupational safety, so the question of choosing universal methods remains relevant and requires further study.

Keywords: professional fatigue; working capacity; methods of fatigue assessment; mental fatigue; physical fatigue

For citation: Novozhilova A.A., Geregei A.M., Merkulova A.G. Features of studying occupational fatigue in labor physiology (literature review). *Med. труда i prom. ekol.* 2022; 62(4): 238–246. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-4-238-246> (in Russian)

For correspondence: Anastasiya A. Novozhilova, junior research scientist at the Izmerov Research Institute of Occupational Health. E-mail: ppe-lab@irioh.ru

Information about the authors: Novozhilova A.A. <https://orcid.org/0000-0002-2493-1155>

Geregei A.M. <https://orcid.org/0000-0002-7927-2505>

Merkulova A.G. <https://orcid.org/0000-0002-0180-5754>

Contribution:

Novozhilova A.A. — research concept and design, data collection and processing, writing the text, editing;

Geregei A.M. — research concept and design, writing the text, editing;

Merkulova A.G. — writing the text, editing.

Funding. The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 16.12.2021 / Accepted: 25.01.2022 / Published: 25.05.2022

Введение. В настоящее время, благодаря автоматизации и механизации производственных процессов, отмечается снижение удельного веса физического труда. При этом наблюдается наращивание интенсивности и интеллектуализация профессиональной деятельности, связанные с увеличением трудовых задач, повышением требований к квалификации персонала и расширением объективных подходов к оценке результатов деятельности [1]. Все это предъявляет высокие требования к нервно-эмоциональному состоянию работника, способствуя развитию напряжения и утомления, обусловленных рабочей деятельностью.

Согласно результатам исследования условий труда, проведённого Европейской организацией по улучшению условий жизни и труда (*Eurofound*), состояние утомления наблюдается у обширной категории сотрудников, занятых в различных отраслях и видах экономической деятельности. Причинами возникновения утомления могут являться социально-психологические и организационные факторы, а также физическая составляющая трудовой деятельности [2].

Актуальность проблемы утомления работников в России подтверждается многочисленными исследованиями в различных сферах экономики, в т. ч. в авиации, транспорте, образовании, здравоохранении, на производстве и пр. Существенные перегрузки, связанные прежде всего со сверхурочными работами и недостаточным отдыхом работников, негативно сказываются на их психоэмоциональном состоянии, мотивации и удовлетворённости профессиональной деятельностью [3–6].

Длительное профессиональное утомление увеличивает риск возникновения травматизма и провоцирует развитие заболеваний различных органов и систем человека [7–9], негативным образом сказывается на мотивации труда и способно приводить к эмоциональному выгоранию [4]. Эффективность и качество труда работника зависят от психологической и физиологической «цены» прикладываемых им трудовых усилий, а также от состояния его здоровья [10], поэтому для обеспечения безопасности на рабочем месте, повышения эффективности и качества труда необходимо исследовать профессиональное утомление работников и разрабатывать методы его профилактики.

Исходя из вышесказанного, исследование профессионального утомления как состояния, способного оказать негативное влияние на здоровье работника и его функциональные возможности, по-прежнему остаётся актуальной задачей.

Цель исследования — анализ особенностей исследования профессионального утомления в физиологии труда.

Материалы и методы. Проанализировано более 40 литературных источников по теме профессионального утомления. В первой части статьи рассмотрены ранние исследования профессионального утомления, в частности, приведены примеры выбора физиологических, психофизиологических и психологических методов диагностики. В группе последних выделяются объективные и субъективные инструменты. Во второй части указаны методы, применяемые в современных отечественных и зарубежных исследованиях за последние пять лет.

Результаты и обсуждение. Определению понятия утомления посвящено большое количество работ. В.А. Бодров в книге «Профессиональное утомление: фундаментальные и прикладные проблемы» отмечает наличие

сложностей с разграничением следующих понятий: утомление и переутомление, физическое и умственное утомление, утомление и психическое выгорание, трудовое, производственное, рабочее и профессиональное утомление и т. д. [1]. В отечественной литературе по физиологии и психологии труда авторы, обобщая множество определений утомления, характеризуют его состоянием временно-го снижения работоспособности под влиянием длительного воздействия нагрузки [11, 12].

Обзор зарубежной литературы показал, что отсутствие единой трактовки понятия утомления связано с многомерностью данного состояния и отсутствием надёжных методов его оценки [13, 14]. M.R. Frone и M.O. Tidwell характеризуют утомление как чрезмерную усталость и снижение функциональных возможностей, возникающих как в процессе, так и по окончании рабочей деятельности [15]. P. Gander, изучая управление риском утомления в транспортной отрасли, определяет утомление как неспособность работника поддерживать работоспособность на желаемом уровне из-за неполноценного восстановления после предшествующей деятельности [16].

В «Руководстве по внедрению системы управления рисками, связанными с утомлением»¹ экипажей в авиации, принятом Международной ассоциацией гражданской авиации, утомление определяется как физиологическое состояние пониженной умственной или физической работоспособности в результате бессонницы или длительного бодрствования, фазы суточного ритма или рабочей нагрузки (умственной и/или физической деятельности), которое может ухудшить активность и способность члена экипажа безопасно управлять воздушным судном или исполнять другие служебные обязанности [17].

На наш взгляд, последнее определение является наиболее полным в части характеристики профессионального утомления и может распространяться на различные виды профессиональной деятельности.

Несмотря на отсутствие единого определения, исследователями ведётся активная работа по подбору методов, которые позволили бы с высокой надёжностью оценить уровень профессионального утомления и установить влияние различных факторов рабочей среды на его развитие.

Физиология человека рассматривает утомление как нормальную реакцию организма при наличии возможности переносить определённую нагрузку регулярно в течение длительного времени и восстанавливаться после кратковременного отдыха. Однако в случае наступления переутомления речь идёт о патологической реакции организма. При длительном труде в неблагоприятных условиях работник, как правило, задействует чрезмерные физиологические и психологические ресурсы, что вызывает нарушения устойчивости вегетативных функций, изменения в когнитивной, моторной и мотивационной сферах [11].

В связи с этим для исследования утомления необходим комплексный подход, включающий изучение физиологических, психологических и поведенческих проявлений [1, 18]. Например, о наступлении состояния утомления свидетельствует повышение частоты сердечных сокращений (ЧСС) — как физиологический компонент; возникновение ощущения усталости, вялости — как психологи-

¹ «Руководство по внедрению системы управления рисками, связанными с утомлением» экипажей в авиации (The fatigue risk management systems, FRMS).

ческий компонент оценки; увеличение времени реакции, количества ошибок — как поведенческий компонент.

И.Б. Ушаков с соавторы отмечают необходимость включения в оценку функционального состояния работника показателей, характеризующих состояние систем, которые испытывают наибольшую нагрузку. Оценка должна охватывать анализ энергетических, сенсорных, информационных, эффекторных и активационных показателей [19].

Применение одного метода исследования не может дать полноценного представления о состоянии работника, поэтому остаётся актуальной проблема формирования батареи методов диагностики утомления, адекватных задачам конкретной профессиональной деятельности и способных с должной чувствительностью отразить функциональные сдвиги организма человека. Это связано с тем, что большинство объективных методов оценки не подразумевают моделирование трудовой деятельности, а результаты субъективных методов зачастую являются предметом разногласий в части отражения реального функционального состояния испытуемого². Тем не менее, отмечается необходимость применения при оценке утомления как объективных, так и субъективных методов [20].

При подборе методов для оценки утомления следует учитывать влияние на функциональное состояние человека как физического, так и умственного компонентов конкретной профессиональной деятельности. Очевидно, что связанные с физическим трудом профессии имеют высокую корреляцию с физическим утомлением, а у работников умственного труда, в частности, со сменным графиком работы, в значительной степени выражено умственное утомление. Однако при оценке утомления работников, деятельность которых преимущественно связана с работой за компьютером, наблюдалось развитие как умственного утомления, так и физического (вследствие длительного нахождения в положении сидя) [21]. Некоторые авторы отмечают также возможность влияния умственного утомления на физическую работоспособность человека [22].

1. Исследования профессионального утомления в период до 2016 г. Применяемые в работах по исследованию состояния профессионального утомления методы были разделены на физиологические, психофизиологические и психологические.

1.1. Физиологические методы исследования. Наиболее распространёнными в практике отечественных и зарубежных учёных являются физиологические методы диагностики: измерение ЧСС и артериального давления (АД), исследование кожно-гальванической реакции (КГР) и вызванных потенциалов (ВП), электроэнцефалография (ЭЭГ), электроокулография, плетизмография, реография, электрокардиография (ЭКГ), электромиография (ЭМГ) [23–25].

В обзоре основных методов оценки утомления человека-оператора В.М. Воронин отметил частое применение ЭЭГ и метода ВП, уделено внимание бесконтактным методам диагностики функционального состояния организма (пулография, актография и ВЧ-фотометрия), отмечается перспективность использования параметров речевого сигнала оператора [23]. Автор описывает возможность применения ЭМГ в качестве одного из методов оценки актуального функционального состояния работника, указывая на связь между умственной работой и показателями

напряжения отдельных мышц. По мнению В.М. Воронина, большинство физиологических методов наиболее целесообразно применять для оценки динамики показателей состояния человека непосредственно в процессе нагрузки. Ссылаясь на исследования А.А. Генкина и В.И. Медведева, автор отмечает возможность искажения значений физиологических параметров за счёт индивидуальных особенностей организма человека, что следует учитывать в процессе организации и реализации исследования.

В контексте рассмотрения вопроса сложности применения физиологических методов следует отметить пример, приведённый Г.А. Стрюковым: разными авторами состояние утомления может идентифицироваться на основе противоположной динамики значений физиологических параметров, таких как снижение–повышение показателей ЧСС, АД, уровня сахара в крови и т. п. Сам автор в качестве метода диагностики утомления применял ЭЭГ [26].

А.А. Домрачев с целью выведения количественных способов оценки состояния утомления в условиях разной психофизической активности, учитывал обширный круг физиологических, психофизиологических и психологических параметров. Для количественной оценки общего утомления автор выбрал данные, получаемые с помощью методов лабораторной оценки состояния системы крови, а также показатели, рассчитываемые на основе измерений АД и ЧСС [27].

В.А. Машинным для определения функционального состояния оператора, была предложена трёхфакторная модель вариабельности сердечного ритма. В рамках данной модели первый фактор отражает общий тонус вегетативной нервной системы (ВНС) и оценивается с помощью показателя стандартного отклонения сердечного ритма. Второй фактор характеризует баланс между активностью надсегментарных и сегментарных структур ВНС в регуляции сердечного ритма. Третий фактор связан с балансом между симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС, анализ проводится на основе значения средней продолжительности сердечных сокращений. Данная модель описывает 8 функциональных классов, позволяющих диагностировать состояние утомления³.

1.2. Психофизиологические методы исследования. В отечественной литературе не меньшее распространение получили психофизиологические методы.

А.А. Виру и соавторы отмечали информативность оценки сложных сенсорно-моторных реакций (ССМР) и реакций на движущийся объект (РДО) для диагностики состояния умственной работоспособности и утомления. Авторы также указывали на надёжность теста компенсации слежения, основанного на принципе парирования сигнала разбаланса на стрелочном индикаторе, для изучения некоторых видов операторской работы [12].

Умственная работоспособность может оцениваться на основе показателей динамики психических и психофизиологических функций. При исследовании операторской деятельности В.П. Загрядским с соавторами предлагается применение методики слежения, например, оценки РДО, совмещённой с выполнением ССМР, при одновременной регистрации ЧСС и последующим вычислением индекса напряжения, а также изучение пропускной способности анализаторов и динамики нервных процессов. Отмечает

² Morelock S.G. Sustained Vigilance, Errors, and Job Satisfaction in a Population of Critical Care and Emergency Department Nurses). Nursing Theses and Dissertations. The School of Nursing at Scholar Works at UT Tyler; 2014.

³ Машин В.А. Трёхфакторная модель вариабельности сердечного ритма в психологических исследованиях функциональных состояний человека-оператора: автореферат дис. ... д-ра психол. наук. М: 2010.

ся необходимость подбора методик в зависимости от модальности наиболее задействованного анализатора: при нагрузке на зрительный анализатор — применение теста на критическую частоту слияния световых мельканий (КЧСМ) совместно с методами из когнитивной психологии, для оценки слухового анализатора — тест на критическую частоту звуковых «мельканий». Отмечена возможность применения показателя максимального усилия кисти в комплексе с вышеперечисленными методами [28].

Оценка динамики показателей простой сенсомоторной реакции (ПСМР) широко применяется в диагностике общей работоспособности человека, как один из универсальных методов, позволяющих обнаружить сдвиги функционального состояния ЦНС [28–30]. В.П. Загрядский с соавторами отмечают возможность применения комплекса методик при оценке работоспособности в ходе физической деятельности: КЧСМ, ПСМР, динамометрии для измерения статической мышечной выносливости и максимального усилия кисти [28].

И.С. Поликанова с соавторами отмечают простую зрительно-моторную реакцию (ПЗМР) как один из наиболее надёжных методов исследования утомления, тогда как результаты сложной зрительно-моторной реакции (СЗМР) не всегда могут трактоваться однозначно. Например, при оценке реакции выбора может отмечаться не увеличение времени реакции, как в случае ПЗМР, а его снижение, и вместе с этим возрастает количество ошибок, формируя тем самым эффект, получивший название «компромисс скорости и точности» [31]. Помимо этого, авторы отмечают теппинг-тест как информативный метод диагностики утомления⁴.

Для количественной оценки общего утомления А.А. Домрачев провёл отбор характеристик анализаторных и психофизиологических систем, получаемых с помощью метода Фолькельта, акуметрии, измерения порога электрической чувствительности сетчатки (ПЭЧ), СЗМР [27].

С точки зрения А.А. Гридина с соавторами динамика умственной работоспособности может анализироваться с помощью показателей скорости и точности реакции, помехоустойчивости и объёма перерабатываемой информации [28, 32].

Среди психофизиологических методов диагностики состояния профессионального утомления В.М. Воронин выделил теппинг-тест, измерение КЧСМ, скорости реакции, показателей координации в системе «глаз–рука» под воздействием нагрузок разной интенсивности и смешанные пробы с одновременной регистрацией значений координации и скорости реакции. Отмечена возможность применения методов интеллектуального прогнозирования состояния работника с помощью анализа положения век, особенностей дыхательных актов и наклона головы. Диагностику операторского утомления целесообразно проводить в процессе моделирования работы на симуляторе [23].

В процессе изучения развития утомления у военнослужащих D.L. Fogt, J.E. Kalns рассматривали в качестве основной его причины недостаток сна. В своём исследовании авторы оценивали когнитивные функции добровольцев с помощью теста Струпа [14].

S.K.L. Lal и A. Craig установили, что на состояние сонливости могут указывать окуломоторные показатели и длительность закрытия век, измеряемая с помощью ме-

тода PERCLOS. При наступлении утомления замедляются движения глаз и увеличивается частота моргания [25]. Широкое применение метод PERCLOS получил для контроля утомления водителей транспортных средств. Однако в исследовании M.W. Johns установлено, что в условиях постоянного внимания у некоторых испытуемых наблюдалось снижение частоты моргания, но число ошибок при этом не сокращалось, т. е. испытуемые как будто засыпали с открытыми глазами [33, 34]. Следовательно, применение PERCLOS и аналогичных методов требует дальнейшей проработки.

Применение психофизиологических методов осложняется эффектом «тренируемости», который нельзя не учитывать в процессе диагностики. Так, И.Б. Ушаков отмечает, что для исключения тренируемости, необходимо предварительное проведение, как минимум, 25 измерений ПСМР, 15 измерений КЧСМ, 4 — при оценке тремора и мышечного усилия. В описании требований к проведению диагностики функционального состояния авторы, в том числе, обратили внимание на зависимость информативности тестов от внешних неблагоприятных факторов: при длительном воздействии на работника шума для оценки функционального состояния наиболее информативны значения ПСМР и статокINETической устойчивости, а при работе в условиях высоких температур — показатели ЧСС, мышечной выносливости и ректальной температуры [18].

1.3 Психологические методы исследования. Довольно распространены в исследовании утомления психологические объективные методы. Как правило, к их числу относят инструменты, применяемые в когнитивной психологии и связанные с оценкой познавательных психических процессов. Отечественные авторы для оценки динамики умственной работоспособности, предлагали методы, отражающие функциональные характеристики ведущих психических функций: тесты на кратковременную и долговременную память, тест Грюнбаума, анаграммы, различные корректурные пробы [12, 28].

В.М. Воронин, в свою очередь, отметил возможность применения когнитивных методов: корректурная проба Бурдона; метод непрерывного счета однозначных чисел Э. Крепелина; метод элементарной шифровки Пьерона-Рузера; пропозициональная схема П.В. Торндайка; тест Д. Канемана на основе вторичной зондовой задачи [23].

S.G. Morelock поднимает проблему ошибок в работе среднего медицинского персонала по причине профессионального утомления и приводит пример использования аналога корректурной пробы — «D2 Test of Attention», позволяющего оценить избирательность и устойчивость внимания, а также способность визуального сканирования. При этом автор отмечает проблему интерпретации результатов, в частности при оценке качества выполнения профессиональных задач медицинских сестёр⁵.

К наиболее часто применяемым инструментам оценки умственной работоспособности А.А. Гридина с соавторами относят, в том числе, таблицы с кольцами Ландольта [28, 32].

V.J. Gawron в обзоре публикаций, посвящённых исследованию утомления среди пилотов гражданской и военной авиации, помимо психофизиологических методов,

⁴ Поликанова И.С. Психофизиологические детерминанты развития утомления при когнитивной нагрузке. М.: 2013.

⁵ Morelock S.G. Sustained Vigilance, Errors, and Job Satisfaction in a Population of Critical Care and Emergency Department Nurses. Nursing Theses and Dissertations. The School of Nursing at Scholar Works at UT Tyler; 2014

таких как измерение психомоторной реакции с помощью *the psychomotor vigilance task (PVT)* — аналога ПЗМР, реакции выбора (ССМР), теста Струпа, регистрации времени сна и бодрствования, выделяет оценку поведенческого компонента, в рамках которой проводится учёт допущенных ошибок при моделировании работы на симуляторе. Автор говорит об объективных психологических методах, основанных на логических рассуждениях и вертикальном/горизонтальном сложении, а также обращает внимание на возможность применения субъективных методов, позволяющих оценить индивидуальный уровень концентрации (*Checklist individual strength concentration subscale, CISCON*), степень утомления (*Fatigue Assessment Scale, FAS*) и эмоционального выгорания (*Maslach burnout inventory emotional exhaustion, MBI-EE*) [35].

Субъективные психологические методы оценки могут предоставить важную информацию о состоянии работника в процессе диагностики профессионального утомления. До сих пор среди исследователей нет однозначного мнения относительно доверия результатам субъективных опросников, что связано прежде всего с трудностью их объективного подтверждения. На процесс сбора субъективной информации могут накладываться факторы недобросовестного отношения испытуемых в части предоставления информации, намеренного искажения результатов в зависимости от внутренних мотивов. Также в связи с высоким уровнем стресса человек не всегда может вовремя идентифицировать состояние утомления. Стоит учитывать необходимость адаптации иностранных опросников с точки зрения их психодиагностических параметров в новых культурных условиях (валидность, надёжность, репрезентативность). Тем не менее главным их преимуществом остается простота применения.

В отечественных исследованиях авторы, как правило, используют следующие диагностические инструменты: «Дифференцированная оценка состояний сниженной работоспособности» (А.Б. Леонова, С.Б. Величковская), «Степень хронического утомления» (А.Б. Леонова, И.В. Шишкина), «Оценка острого умственного утомления» (А.Б. Леонова, Н.Н. Савичева), «Оценка острого физического утомления» (в адаптации А.Б. Леоновой), «Тест дифференцированной самооценки функционального состояния» — Тест САН (В.А. Доскин и др.). Наиболее часто отечественными исследователями применяется опросник САН [4, 6, 36].

В.М. Воронин выделял следующие методы: «Шкала состояний» (в адаптации А.Б. Леоновой), «Шведский опросник профессионального утомления» (*Swedish Occupational Fatigue Inventory, SOFI*), «Шкала утомления Ли» (*Lee Fatigue Scale, LFS*), «Шкала оценки утомления» (*FAS*), «Краткий опросник утомления» (*Brief Fatigue Inventory, BFI*), шкалы Борга (*RPE* — шкала оценки напряжения) и шкала *CR10*) [23].

В работе по исследованию профессионального утомления среднего медицинского персонала I.M. Ramdan помимо психомоторных тестов, измерения зрительных параметров и физиологических сдвигов, отмечал широкое применение субъективных методов оценки профессионального утомления в связи с простотой и быстротой их проведения: «Краткий опросник по утомлению» (*the Brief Fatigue Inventory, BFI*), «Шкала тяжести утомления» (*Fatigue severity Scale, FSS*), «Шкала утомления Ротена» (*Rhoten fatigue scale*), «Общая активность и эмоциональное состояние» (*Global vigor and affect, GVA*), «Оценка утомления и апатии» (*Schedule of fatigue and anergia, SOFA*), «Оценка

симптомов утомления» (*Fatigue symptom inventory, FSI*), чек-лист прилагательных для оценки утомления Мей и Клайн (*May, Kline*), чек-лист для оценки самочувствия при утомлении Пирсона-Байарса (*Pearson-Byars fatigue feeling checklist*), опросник утомления Японского Комитета по исследованию промышленного утомления (*Japanese Industrial Fatigue Research Committee (JIFRC) Fatigue Questionnaire*), шкалы: *FAI, FIS, FRS, FAS, LFS PFS, CIS, VAS-F, Fatigue questionnaire* [37].

А.А. Домрачев отмечал возможность применения психологических инструментов оценки, таких как метод непрерывного счета Э. Крепелина, тесты на восприятие времени и расстояния. Автор уделил значительное внимание формированию требований к процедуре диагностики утомления. Время обследования, количество аппаратуры и расходных материалов при регистрации данных должны быть минимизированы, а результат — отвечать принципу «здесь и сейчас» [27]. В Руководстве по внедрению *FRMS* также отмечены параметры, которые необходимо учитывать при организации мониторинга утомления в условиях лётной эксплуатации, в частности при подборе методик: время проведения методик, их валидность, возможность проведения многократных измерений, не мешая работе персонала, возможность использования метода в целях прогнозирования работоспособности и опыт применения в конкретной отрасли [17]. Руководство по внедрению *FRMS* представляет подробную методологию по внедрению системы управления рисками, связанными с профессиональным утомлением экипажей, что актуально для иных опасных профессий, профессий с особыми требованиями к свойствам внимания работника, а также для которых характерна высокая критичность принимаемых решений и сменный график работы.

2. Исследования профессионального утомления с 2017 по 2021 гг. 2.1. Методы исследования профессионального утомления в России. Краткий обзор отечественных публикаций за последние 5 лет показал большую распространённость в первую очередь физиологических и психофизиологических методов, одновременно следует отметить интерес исследователей к применению субъективных опросников.

А.Е. Бубнова в процессе исследования утомления операторов МЧС проводила оценку сомнологического статуса с помощью «Анкет балльной оценки субъективных характеристик качества сна» (модификация анкеты Шпигеля) и шкалы *ESS*. Уровень утомления оценивался с помощью методики *FAS* и «Шкала оценки индивидуальной выраженности утомления» (*Checklist Individual Strength, CIS*). Эффективность операторской деятельности оценивалась с помощью диагностической модели сенсомоторного слежения [38].

Для оценки профессионального риска с учётом утомления П.С. Шинкевич рассматривала показатели КЧСМ и время реакции на раздражитель [39].

А.В. Веркеев и соавторы для оценки состояния здоровья пользователей персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ) применяли индивидуальную методику идентификации вредных факторов и оценку симптомов утомления на рабочем месте [40].

Ю.Н. Баранов с соавторами отмечали важность подбора методов, позволяющих быстро идентифицировать состояние утомления среди работников, от которых требуется высокая концентрация внимания. Авторами был разработан и запатентован метод, определяющий степень утомления на основе измерения биоэлектрического

потенциала поверхностно локализованных биологически активных точек человека [5].

Исследователи ФГБНУ «НИИ МТ» при оценке риска утомления у работников нервно-эмоционального труда применяли физиологические, психофизиологические, а также психологические методы диагностики [41]. В целях исследования авторы проводили сбор и анализ следующих физиологических параметров: ЧСС, АД, температура тела для анализа динамики циркадных ритмов, рассчитывали индекс функциональных изменений системы кровообращения по Р.М. Баевскому и другие интегральные показатели, полученные в результате сбора объективных данных. Для оценки функциональных резервов организма работников применялись нагрузочные пробы. Помимо этого, были проведены: оценка психомоторной реакции с помощью PVT, корректурная проба с кольцами Ландольта, тест «Память на числа», хронорефлексометрия, актиграфия. Из субъективных методов применяли «Шкалу сонливости Эпворта» (ESS), «Каролинскую шкалу сонливости» (KSS), шкалу Самна-Перелли, тест О. Остберга. Исследователи анализировали также данные мониторинга сна, который осуществлялся путём ведения дневников.

2.2. Методы исследования профессионального утомления за рубежом. Обзор исследовательских работ за последние 5 лет среди иностранных публикаций показал отсутствие единых подходов к оценке профессионального утомления. В некоторых исследованиях авторы задействуют инструменты выявления нарушений сна, такие как оценку скорости реакции с помощью PVT, «Тест множественной латенции сна» (*The Multiple Sleep Latency Test, MSLT*), которые относят к золотому стандарту диагностики депривации сна. Применение подобных методов обусловлено тем, что сонливость может являться одним из симптомов утомления. Важно отметить имеющуюся проблему дифференциации причин возникновения данного состояния, в связи с влиянием производственных факторов или нарушением циркадных ритмов, как одну из актуальных для современных исследователей [18, 42].

В современных зарубежных исследованиях для диагностики состояния утомления также распространена оценка ЭЭГ [43–47]. Большое число исследований посвящено выявлению факторов профессионального утомления представителей профессий, действия которых связаны с высокими рисками для жизни и здоровья людей (медицинский персонал, сотрудники транспортной сферы).

С целью отбора валидных и надёжных субъективных методов оценки утомления персонала P.D. Patterson, M.D. Weaver провели их сравнение с установленным стандартом выявления депривации сна — тестом MSLT и объективными методами, такими как PVT, моделирование ситуации вождения на симуляторе, анализ скорости закрытия век, измерение параметров пострурального контроля. Были выделены следующие инструменты диагностики профессионального утомления: «Краткий опросник по утомлению» (BFI), «Шведская шкала оценки профессионального утомления» (*the Swedish Occupational Fatigue Inventory, SOFI*), «Опросник для оценки симптомов утомления» (*the Fatigue Related Symptoms Questionnaire, F-RSQ*), «Опросник для оценки состояния экипажа» (*Crew Status Survey, CSS*), «Шкала утомления/восстановления» (*Occupational Fatigue Exhaustion Recovery (OFER) scale*), «Шкала хронической усталости стандартного индекса сменной работы» (*the Chronic Fatigue Scale of the Standard Shiftwork Index, SSI-CFS*), «Шкала оценки утомления» (FAS), «Опросник для оценки факторов

утомления» (*the Multidimensional Fatigue Inventory, MFI*), «Информационная система, оценивающая состояние здоровья пациентов при исследовании утомления» (*the Patient Reported Outcomes Measurement Information System, PROMIS, fatigue survey*), «Опросник по утомлению Чалдер» (*the Chalder Fatigue Questionnaire, CFQ*) [42].

В работе по изучению психосоциальных факторов, влияющих на профессиональное утомление, Н.А. Rahman применял опросник «Шкала утомления/восстановления» (*OFER scale*) [48].

С целью исследования состояния утомления работников, занятых в автомобильном секторе, F. Guo с соавторами использовали «Опросник для оценки факторов утомления» (MFI), позволяющий получить информацию об уровне физического и умственного утомления, опросник «Функциональная оценка терапии хронических заболеваний — утомление» (*the Functional assessment of chronic illness therapy-fatigue, FACIT-F*) — для измерения общего утомления и «Индекс качества сна Питтсбурга» (*PSQI*) — для оценки сомнологического статуса работников [49].

B.J. Thompson с соавторами, исследуя утомление медицинских сестёр, отметили, что показатели психомоторной бдительности и пострурального контроля могут быть чувствительны к развитию состояния утомления [43]. S. Ozvurtmaz с соавторами, исследуя ту же профессиональную группу, использовали визуальную аналоговую шкалу утомления (VAS-F) [50].

В процессе исследования факторов, влияющих на утомление производственного и сменного персонала, A. Azwar с соавторами проводили сбор данных с помощью шкалы CIS с целью получения информации о субъективных ощущениях добровольцев в состоянии утомления, в т. ч. об отсутствии мотивации, недостатке физической активности, сложности концентрации внимания. Дополнительно рассчитывался «Индекс качества сна Питтсбурга» (*PSQI*) [7].

I. Völker с соавторами исследовали возможность применения стабилотрии для выявления утомления работников офисной сферы как альтернативу ЭЭГ, ЭКГ, а также методам исследования когнитивных способностей (тест по оценке координации рук и глаз) [43]. I. Völker отмечает важность учета как минимум трех параметров при оценке утомления в силу многомерности и сложности исследуемого состояния. Предлагается альтернативный выбор между стабилотрией и измерением скорости психомоторной реакции, между ЭКГ или тестом на исследование объёма внимания, третий учитываемый параметр должен включать субъективные данные по утомлению работников [20].

M. Mustofani с соавторами изучали влияние микроклимата и физической нагрузки на профессиональное утомление. Для оценки утомления авторы измеряли скорость реакции испытуемых [51].

Заключение. Несмотря на большое количество отечественных и зарубежных исследований, а также обширный перечень применяемых методов, единый подход к определению и оценке профессионального утомления отсутствует.

Целесообразна комплексная оценка утомления на физиологическом, психологическом и поведенческом уровнях как с помощью объективных, так и субъективных методов. Также необходимо учитывать наличие физического и умственного компонента в составе трудовой деятельности.

Учитывая преимущество в количестве субъективных методов, разработанных зарубежными авторами, следует

продолжать работу по переводу и адаптации иностранных опросников с целью расширения перечня диагностического инструментария.

Измерение сенсомоторной реакции для оценки состояния утомления широко распространено среди отечественных и зарубежных исследователей, поэтому необходимо обратить особое внимание на уместность применения метода

в каждом конкретном исследовании, а также определение его ограничений.

В связи с актуальностью вопросов мониторинга и оценки утомления для многих профессиональных групп считаем возможным и важным унифицировать практику, применяемую в международной авиации, с целью её распространения на иные профессиональные сферы.

Список литературы

- Бодров В.А. *Профессиональное утомление: фундаментальные и прикладные проблемы*. М.: Институт психологии РАН; 2009.
- Parent-Thirion A., Biletta I., Cabrita J., Vargas O., Vermeylen G. et al. *Sixth European Working Conditions Survey — Overview report*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2016.
- Чернов О.Э., Алексеев С.А., Колягин В.Я. Медико-психологическое обеспечение безопасности профессиональной деятельности работников локомотивных бригад. *Мед. труда и пром. экол.* 2011; 7: 3–9.
- Иванова С.В., Алексеева Л.Ю. Психосоциальные риски работников сферы образования и здравоохранения. XXI век. *Техносферная безопасность*. 2018; 1(9): 10–20.
- Баранов Ю.Н., Трясцин А.П., Дубровин А.Г., Катунин А.А., Никитенко О.С. Мониторинг функционального состояния операторов технических систем как фактор безопасности технологических процессов. *Вестник аграрной науки Дона*. 2020; 2(50): 93–9.
- Зеленова М.Е. Социально-психологические факторы регуляции профессионального здоровья летчиков. *Социальная психология и общество*. 2014; 5(1): 54–73.
- Azwar A., Susilowati I.H., Dinar A., Indriyani K., Wirawan M. Impact of Work-related and Non-work-related Factors on Fatigue in Production/Shift Workers. In: *International Conference of Occupational Health and Safety (ICOHS2017)*, November 1–2, 2017. *KnE Life Sciences*. 2018; 213–24. <https://doi.org/10.18502/cls.v4i5.2554>
- In the face of a pandemic: Ensuring safety and health at work*. Geneva: ILO; 2020.
- Winwood P.C., Psych B., Winefield A.H., Dawson D., Lushington K. Development and Validation of a Scale to Measure Work-Related Fatigue and Recovery: The Occupational Fatigue Exhaustion/Recovery Scale (OFER). 2005; 47(6): 594–606. <https://doi.org/10.1097/01.jom.0000161740.71049.c4>
- Маркова А.К. *Психология профессионализма*. М.: Международный гуманитарный фонд «Знание»; 1996.
- Леонова А.Б. *Психодиагностика функциональных состояний человека*. М.: Издательство Московского университета; 1984.
- Измеров Н.Ф., Золина З.М. ред. *Руководство по физиологии труда*. М.: Медицина; 1983.
- Ясько Б.А., Зайчикова Д.А. Развитие подходов к анализу профессионального утомления в современной зарубежной литературе. *Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда*. 2018; 3(4): 4–29.
- Fogt D.L., Kalns J.E., Michael D.J. A Comparison of Cognitive Performance Decreases During Acute, Progressive Fatigue Arising From Different Concurrent Stressors. *Military medicine*. 2010; 175: 939–944. <https://doi.org/10.7205/milmed-d-10-00093>
- Frone M.R., Tidwell M.O. The Meaning and Measurement of Work Fatigue: Development and Evaluation of the Three-Dimensional Work Fatigue Inventory (3D-WFI). *Occup. Health Psychol.* 2015; 20(3): 273–88. <https://doi.org/10.1037/a0038700>
- Gander P., Hartley L., Powell D., Cabond P., Hitchcock E., Mills A., Popkin S. Fatigue risk management: Organizational factors at the regulatory and industry/company level. *Accident Analysis and Prevention*. 2011; 43: 573–90. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.11.007>
- Fatigue Risk Management Systems. Implementation Guide for Operators*. 1st Edition. ICAO-IATA-IFALPA. 2011.
- Ильин Е.П. *Психофизиология состояний человека*. СПб.: Питер; 2005.
- Ушаков И.Б., Богомолов Ю.А., Кукушкин А.В. *Паттерны функциональных состояний оператора*. М.: Наука; 2010.
- Völker I., Kirchner C., Bock O.L. Relation between Multiple Markers of Work-Related Fatigue. *Safety and Health at Work*. 2016; 7: 124–9. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2015.11.003>
- Leung A.W.S., Chana C.C.H., He J. Structural stability and reliability of the Swedish occupational fatigue inventory among Chinese VDT workers. *Applied Ergonomics*. 2004; 35: 233–41. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.02.004>
- Cutsem J.V., Marcora S., Pauw K.D., Bailey S., Meeusen R., Roelands B. The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance: A Systematic Review. *Sports Med.* 2017; 47(8): 1569–88. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0672-0>
- Воронин В.М. *Психология решения оперативных задач в больших системах. Диагностика функционального состояния и обучение операторов*. Екатеринбург: УрГУПС; 2016.
- Kar S., Bhagat M., Routray A. EEG signal analysis for the assessment and quantification of driver's fatigue. *Transportation Research Part F*. 2010; 13: 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2010.06.006>
- Lal S.K.L., Craig A. A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological Psychology*. 2001; 55: 173–94. [https://doi.org/10.1016/s0301-0511\(00\)00085-5](https://doi.org/10.1016/s0301-0511(00)00085-5)
- Стрюков Г.А., Долголенко Т.Н., Конопкин О.А. Психофизиологическая характеристика состояния утомления на основе показателей активации. *Вопр. психол.* 1981; 3: 38–48.
- Домрачев А.А., Михайлова Л.А. Методологический подход к оценке функционального состояния организма по степени утомления. *Физиология человека*. 2010, 36(1): 106–11.
- Загрядский В.П., Сулимо-Самуйло З.К. Методы исследования в физиологии труда. Л.: ВМА; 1991.
- Зимкина А.М., Климова-Черкасова В.И. ред. *Нейрофизиологические исследования в экспертизе трудоспособности*. Л.: Медицина; 1978.
- Байгузин П.А. Оптимизация оценки показателей сенсомоторной реакции — предикторов функционального состояния центральной нервной системы. *Современные проблемы науки и образования*. 2011; 6: 252–60.
- Поликанова И.С., Леонов С.В. Психофизиологические и молекулярно-генетические корреляты утомления. *Современная зарубежная психология*. 2016; 5(4): 24–35. <https://doi.org/10.17759/jmfp.2016050403>
- Гридин Л.А., Ихаляйнен А.А., Богомолов А.В., Ковтун А.А., Кукушкин Ю.А. Методы исследования и фармакологической коррекции физической работоспособности человека. М.: ОАО «Издательство «Медицина, издательство «Шико»; 2007.
- Johns M.W. The Amplitude-Velocity Ratio of Blinks: A New Method for Monitoring Drowsiness. *Sleep*. 2003; 26: A51–6.
- Trutschel U., Sirois B., Sommer D., Goltz M., Edwards D. Perclos: An Alertness Measure of the Past. In: *Proceedings of*

- the Sixth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, June 27–30, 2011, Lake Tahoe, CA, USA; 2011: 172–9. <https://doi.org/10.17077/drivingassessment.1394>
35. Gawron V.J. Summary of Fatigue Research for Civilian and Military Pilots. *IIE TOEHF*. 2016; 4(1): 1–18. <https://doi.org/10.1080/21577323.2015.1046093>
 36. Зуев А.В., Федотова И.В., Васильева Т.Н. Оценка влияния информационной нагрузки на работоспособность учителей начальных классов: *Материалы III международного научно-практического форума*, 15–17 мая 2019, г. Новополюцк-Полоцк; ООО Полиграфт: 2019.
 37. Ramdan I.M. Measuring Work Fatigue on Nurses: A Comparison between Indonesian Version of Fatigue Assessment Scale (Fas) and Japanese Industrial Fatigue Research Committee (Jifrc) Fatigue Questionnaire. *Padjadjaran Nursing Journal*. 2019; 7(2): 141–51. <https://doi.org/10.24198/jkp>
 38. Бубнова А.Е. Комплексная оценка субъективных и объективных физиологических характеристик критического уровня утомления у операторов МЧС. *Вестник ВолгГМУ*. 2019; 3(71): 91–5. [https://doi.org/10.19163/1994-9480-2019-3\(71\)-91-95](https://doi.org/10.19163/1994-9480-2019-3(71)-91-95)
 39. Шинкевич П.С. Разработка методики оценки профессионального риска работников нефтяного промысла с учётом утомления: *Материалы Междисциплинарного форума speed-up*, 15 декабря 2020 г., Москва; Профессиональная наука: 2020.
 40. Веркеев А.В., Говорушкина М.В. Симптомы и причины утомления на рабочем месте пользователя ПЭВМ и пути их решения. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2017; 2: 695–7.
 41. Бухтияров И.В., Юшкова О.И., Фесенко М.А., Меркулова А.Г. Оценка риска утомления у работников нервно-эмоционального труда. *Анализ риска здоровью*. 2018; 1: 66–77. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.08>
 42. Patterson P.D., Weaver M.D., Fabio A., Teasley E.M. et al. Reliability and Validity of Survey Instruments to Measure Work-Related Fatigue in the Emergency Medical Services Setting: A Systematic Review. *Prehospital Emergency Care*. 2018; 22(1): 17–27. <https://doi.org/10.1080/10903127.2017.1376134>
 43. Völker I., Kirchner C., Bock O.L., Wascher E. Body Sway as a Possible Indicator of Fatigue in Clerical Workers. *Saf Health Work*. 2015; 6: 206–10. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2015.04.003>
 44. Thompson B.J., Stock M.S., Banuelas V.K., Akalonu C.C. The Impact of a Rigorous Multiple Work Shift Schedule and Day Versus Night Shift Work on Reaction Time and Balance Performance in Female Nurses: A Repeated Measures Study. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2016; 58(7): 737–43. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000766>
 45. Behrens T., Burek K., Pallapies D., Kösters L., Lehnert M. et al. Decreased psychomotor vigilance of female shift workers after working night shifts. *PLoS ONE*. 14(7): e0219087. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219087>
 46. Wilsona M., Permittob R., English A., Albrittonc S., Cooglec C. et al. Performance and sleepiness in nurses working 12-h day shifts or night shifts in a community hospital. *Accident Analysis and Prevention*. 2019; 126: 43–6. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.09.023>
 47. Basner M., Hermosillo E., Nasrini J., McGuire S., Saxena S. et al. Repeated administration effects on psychomotor vigilance test performance. *Sleep*. 41(1), zsx187. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsx187>
 48. Rahman H.A., Abdul-Mumin K., Naing L. A study into psychosocial factors as predictors of work-related fatigue. *Br. J. Nurs*. 2016; 25: 757–63. <https://doi.org/10.12968/bjon.2016.25.13.757>
 49. Guo F., Wang T., Ning Z. Subjective measures of work-related fatigue in automobile factory employees. *Work*. 2017; 58: 233–40. <https://doi.org/10.3233/WOR-172606>
 50. Ozvurmaz S., Mandiracioglu A. Work-related fatigue and related factors among nurses working at the Adnan Menderes University Hospital. *Medical Science and Discovery*. 2018; 5(8): 284–9. <https://doi.org/10.17546/msd.448923>
 51. Mustofani M., Dwiyantri E. Relationship between Work Climate and Physical Workload with Work-Related Fatigue. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*. 2019; 8(2): 150–7. <https://doi.org/10.20473/IJOSH.V8I2.2019.150-157>

References

1. Bodrov V.A. *Professional fatigue: fundamental and applied problems*. M.: Institut psihologii RAN, 2009 (in Russian).
2. Parent-Thirion A., Biletta I., Cabrita J., Vargas O., Vermeylen G. et al. *Sixth European Working Conditions Survey — Overview report*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2016.
3. Tchernov O.E., Alekseev C.A., Kolyagin V.J. Medical and psychologic background for safety of occupational activity of locomotive crew members. *Med. truda i prom. ekol*. 2011; 7: 3–9 (in Russian).
4. Ivanov S.V., Alekseeva L.J. Psychosocial risks of workers of the education and healthcare systems. XXI vek. *Tehnosphernaja bezopasnost'*. 2018; 1(9): 10–20 (in Russian).
5. Baranov J.N., Tryastsin A.P., Dubrovin A.G., Katunin A.A., Nikitenko O.S. Monitoring the functional state of technical system operators as a factor of process safety. *Vestnik agrarnoj nauki Dona*. 2020; 2(50): 93–9 (in Russian).
6. Zelenova M.E. Social Psychological Factors of Professional Health Regulation in Pilots. *Sotsial'naya psikhologiya i obshchestvo*. 2014; 5(1): 54–73.
7. Azwar A., Susilowati I.H., Dinar A., Indriyani K., Wirawan M. Impact of Work-related and Non-work-related Factors on Fatigue in Production/Shift Workers. In: *International Conference of Occupational Health and Safety (ICOHS2017)*, November 1–2, 2017. KnE Life Sciences. 2018; 213–24. <https://doi.org/10.18502/kl.v4i5.2554>
8. In the face of a pandemic: Ensuring safety and health at work. Geneva: ILO; 2020.
9. Winwood P.C., Psych B., Winefield A.H., Dawson D., Lushington K. Development and Validation of a Scale to Measure Work-Related Fatigue and Recovery: The Occupational Fatigue Exhaustion/Recovery Scale (OFER). 2005; 47(6): 594–606. <https://doi.org/10.1097/01.jom.0000161740.71049.c4>
10. Markova A.K. Psychology of professionalism. M.: Mezhdunarodnij gumanitarnij fond «Znanie»; 1996 (in Russian).
11. Leonova A.B. *The functional states of a person*. M.: Izdatelstvo Moskovskogo universiteta; 1984 (in Russian).
12. Izmerov N.F., Zolina Z.M. red. *Manual on the physiology of labor*. M.: Medicina; 1983 (in Russian).
13. Yasko B.A., Zaichikova D.A. Development of approaches to the analysis of professional fatigue in modern foreign literature. *Institute psihologii Rossijskoj akademii nauk. Organizacionnaja psihologija i psihologija truda*. 2018; 3(4): 4–29 (in Russian).
14. Fogt D.L., Kalns J.E., Michael D.J. A Comparison of Cognitive Performance Decreases During Acute, Progressive Fatigue Arising From Different Concurrent Stressors. *Military medicine*. 2010; 175: 939–44.
15. Frone M.R., Tidwell M.O. The Meaning and Measurement of Work Fatigue: Development and Evaluation of the Three-Dimensional Work Fatigue Inventory (3D-WFI). *Occup. Health Psychol*. 2015; 20(3): 273–88. <https://doi.org/10.1037/a0038700>
16. Gander P., Hartley L., Powell D., Cabond P., Hitchcocke E., Mills A., Popkin S. Fatigue risk management: Organizational

- factors at the regulatory and industry/company level. *Accident Analysis and Prevention*. 2011; 43: 573–90. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.11.007>
17. *Fatigue Risk Management Systems. Implementation Guide for Operators*. 1st Edition. ICAO-IATA-IFALPA. 2011.
 18. Ilyin E.P. *Psychophysiology of human conditions*. SPb.: Piter; 2005 (in Russian).
 19. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. *Patterny funktsional'nykh sostoyanii operatora [Patterns of Manipulator's Functional Status]*. M.: Nauka; 2010.
 20. Völker I., Kirchner C., Bock O.L. Relation between Multiple Markers of Work-Related Fatigue. *Safety and Health at Work*. 2016; 7: 124–9. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2015.11.003>
 21. Leung A.W.S., Chana C.C.H., He J. Structural stability and reliability of the Swedish occupational fatigue inventory among Chinese VDT workers. *Applied Ergonomics*. 2004; 35: 233–41. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.02.004>
 22. Cutsem J.V., Marcora S., Pauw K.D., Bailey S., Meeusen R., Roelands B. The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance: A Systematic Review. *Sports Med*. 2017; 47(8): 1569–88. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0672-0>
 23. Voronin V.M. *Psychology of solving operational tasks in large systems. Functional state's diagnostics and operator training*. Ekaterinburg: UrGUPS; 2016 (in Russian).
 24. Kar S., Bhagat M., Routray A. EEG signal analysis for the assessment and quantification of driver's fatigue. *Transportation Research Part F*. 2010; 13: 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2010.06.006>
 25. Lal S.K.L., Craig A. A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological Psychology*. 2001; 55: 173–94. [https://doi.org/10.1016/s0301-0511\(00\)00085-5](https://doi.org/10.1016/s0301-0511(00)00085-5)
 26. Strukov G.A., Dolgolenko T.N., Konopkin O.A. Psychophysiological Characteristics of Fatigue by Means of Brain Activity. *Vopr. psihol.* 1981; 3: 38–48 (in Russian).
 27. Domrachev A.A., Mihaylova L.A. Methodological approach for estimating the functional state of the body by the degree of fatigue. *Physiologija cheloveka*. 2010; 36(1): 106–11 (in Russian).
 28. Zagradskij V.P., Sulimo-Samuilo Z.K. *Research methods in physiology of labor*. L.: VMA; 1991 (in Russian).
 29. Zimkina A.M., Klimova-Cherkasova V.I. red. *Neurophysiological studies in working capacity examination*. L.: Medicina; 1978 (in Russian).
 30. Baiguzhin P.A. Optimization of the estimation of indicators sensorimotor-reaction — prognostic parameters the functional condition of central nervous system. *Sovremennye problem nauki i obrazovaniya*. 2011; 6: 252–60 (in Russian).
 31. Polikanova I.S., Leonov S.V. Psychophysiological and molecular genetic correlates of fatigue. *Sovremennaja zarubezhnaja psihologija*. 2016; 5(4): 24–35 (in Russian). <https://doi.org/10.17759/jmfp.2016050403>
 32. Gridin L.A., Ihalainen A.A., Bogomolov A.V., Kovtun A.L., Kukushkin J.A. *Research Methods and pharmacological correction of human physical performance*. M.: OAO «Izdatelstvo «Medicina, izdatelstvo «Shiko»; 2007 (in Russian).
 33. Johns M.W. The Amplitude-Velocity Ratio of Blinks: A New Method for Monitoring Drowsiness. *Sleep*. 2003; 26: A51–A56.
 34. Trutschel U., Sirois B., Sommer D., Golz M., Edwards D. Perclos: An Alertness Measure of the Past. In: *Proceedings of the Sixth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, June 27–30, 2011, Lake Tahoe, CA, USA; 2011: 172–9. <https://doi.org/10.17077/drivingassessment.1394>
 35. Gawron V.J. Summary of Fatigue Research for Civilian and Military Pilots. *IIE TOEHF*. 2016; 4(1): 1–18. <https://doi.org/10.1080/21577323.2015.1046093>
 36. Zuev A.V., Phedotova I.V., Vasil'eva T.N. Assessment of the impact of information load on the performance of primary school teachers: *Materiali III mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma*, 15–17 maja 2019, g. Novopolock-Polock; OOO Polikraft; 2019 (in Russian).
 37. Ramdan I.M. Measuring Work Fatigue on Nurses: A Comparison between Indonesian Version of Fatigue Assessment Scale (Fas) and Japanese Industrial Fatigue Research Committee (Jifrc) Fatigue Questionnaire. *Padjadjaran Nursing Journal*. 2019; 7(2): 141–51. <https://doi.org/10.24198/jkp>
 38. Bubnova A.E. The subjective and objective physiological characteristics complex assessment of the critical level of fatigue among emergency operators. *Vestnik VolgGMU*. 2019; 3(71): 91–5 (in Russian). [https://doi.org/10.19163/1994-9480-2019-3\(71\)-91-95](https://doi.org/10.19163/1994-9480-2019-3(71)-91-95)
 39. Shinkevich P.S. Development of a professional risk assessment method for oil field employees taking into account fatigue: *Materiali Mezhdisciplinarnogo foruma speed-up*, 15 dekabrja 2020 g., Moskva; Professionalnaja nauka: 2020 (in Russian).
 40. Verkeev A.V., Govorushkina M.V. Symptoms and causes of fatigue at the workplace of the user and the ways of their solutions. *Aktualnye problem aviacii i kosmonavтики*. 2017; 2: 695–7 (in Russian).
 41. Bukhtiyarov I.V., Yushkova O.I., Fesenko M.A., Merkulova A.G. Fatigue risk assessment for workers with neuro-emotional labor. *Analiz riska zdorovju*. 2018; 1: 66–77 (in Russian). <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.08>
 42. Patterson P.D., Weaver M.D., Fabio A., Teasley E.M. et al. Reliability and Validity of Survey Instruments to Measure Work-Related Fatigue in the Emergency Medical Services Setting: A Systematic Review. *Prehospital Emergency Care*. 2018; 22(1): 17–27. <https://doi.org/10.1080/10903127.2017.1376134>
 43. Völker I., Kirchner C., Bock O.L., Wascher E. Body Sway as a Possible Indicator of Fatigue in Clerical Workers. *Saf Health Work*. 2015; 6: 206–10. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2015.04.003>
 44. Thompson B.J., Stock M.S., Banuelas V.K., Akalonu C.C. The Impact of a Rigorous Multiple Work Shift Schedule and Day Versus Night Shift Work on Reaction Time and Balance Performance in Female Nurses: A Repeated Measures Study. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2016; 58(7): 737–43. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000766>
 45. Behrens T., Burek K., Pallapies D., Kösters L., Lehnert M. et al. Decreased psychomotor vigilance of female shift workers after working night shifts. *PLoS ONE*. 2014; 9(7): e0219087. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219087>
 46. Wilson M., Permittob R., English A., Albritton C., Cooglec C. et al. Performance and sleepiness in nurses working 12-h day shifts or night shifts in a community hospital. *Accident Analysis and Prevention*. 2019; 126: 43–6. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.09.023>
 47. Basner M., Hermosillo E., Nasrini J., Mcguire S., Saxena S. et al. Repeated administration effects on psychomotor vigilance test performance. *Sleep*. 41(1), zsx187. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsx187>
 48. Rahman H.A., Abdul-Mumin K., Naing L. A study into psychosocial factors as predictors of work-related fatigue. *Br. J. Nurs*. 2016; 25: 757–63. <https://doi.org/10.12968/bjon.2016.25.13.757>
 49. Guo F., Wang T., Ning Z. Subjective measures of work-related fatigue in automobile factory employees. *Work*. 2017; 58: 233–40. <https://doi.org/10.3233/WOR-172606>
 50. Ozvurmaz S., Mandiracioglu A. Work-related fatigue and related factors among nurses working at the Adnan Menderes University Hospital. *Medical Science and Discovery*. 2018; 5(8): 284–9. <https://doi.org/10.17546/msd.448923>
 51. Mustofani M., Dwiyantri E. Relationship between Work Climate and Physical Workload with Work-Related Fatigue. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*. 2019; 8(2): 150–7. <https://doi.org/10.20473/IJOSH.V8I2.2019.150-157>