

Психическая нагрузка, психическое напряжение и функциональное состояние операторов систем управления.

В. А. Машин

Нововоронежский учебно-тренировочный центр подготовки специалистов для АЭС,
396070 Россия, г. Нововоронеж, Воронежская обл., НВУТЦ АТЭ.

E-mail: utc@vmail.ru

Резюме

Проанализирована связь между понятиями психическая нагрузка, психическое напряжение и функциональное состояние. Установлена общность понятий психическое напряжение и функциональное состояние при исследовании умственной деятельности. Рассмотрено приложение трехфакторной модели вариабельности сердечного ритма к исследованию функциональных состояний операторов. Выделены два основных типа функциональных состояний, которые негативным образом влияют на эффективность и надежность деятельности: психическое перенапряжение и эмоциональное перевозбуждение. С позиций трехфакторной модели вариабельности сердечного ритма рассмотрены различия между состояниями утомления и монотонии, тревоги и страха.

Ключевые слова: психическая нагрузка, психическое напряжение, функциональное состояние, утомление, монотония, тревога, страх, вариабельность сердечного ритма.

Mental workload, mental strain and functional states of the operators of control systems.

V.A.Mashin

Novovoronezh Training Centre,
396072 Russia, Novovoronezh, Voronezh region, NV TC. E-mail: utc@vmail.ru

Summary

The connection between the notions of mental workload, mental strain and functional state concepts, considering application of the three-factor model of the heart rate variability to studying operators' functional states is considered. The author defines two types of functional states, which negatively affect efficiency and reliability of activity. They are mental overstrain and emotional overexcitation. States of fatigue, monotony, anxiety and fear are analyzed from the point of view of the three-factor model of the heart rate variability.

Key words: mental workload, mental strain, operator functional states, fatigue, monotony, anxiety, fear, heart rate variability.

Управление человеком сложными технологическими процессами высветило крайне важную проблему оценки и контроля психической нагрузки. Ситуации монотонии, когда доля автоматике в управлении высока, а уровень психической нагрузки низкий, ситуации перенапряжения, когда чрезмерная психическая нагрузка не компенсируется уровнем автоматике, являются реальными источниками снижения эффективности и надежности деятельности оператора. Психическая нагрузка (или нагрузка при умственной деятельности – *mental workload*) является важным фактором при проектировании и управлении современными авиалайнерами [16], при разработке новейших визуальных средств поддержки авиадиспетчеров [18], при планировании и оценке программ подготовки авиационного персонала [30]. Управление психической нагрузкой является центральной задачей при создании адаптивных автоматизированных систем [29]. Большое внимание уделяется контролю психической нагрузки в исследованиях деятельности водителей [17,19]. Несмотря на широкий спектр использования, на сегодняшний день не существует общепринятого определения термина "психическая нагрузка". Пытаясь разрешить эту проблему, Международная организация по стандартизации опубликовала в 1991 году стандарт ISO 10075-1:1991 "Эргономические принципы, относящиеся к нагрузке при умственной деятельности: Общие термины и их определения", в котором в рамках причинно-следственной модели были выделены два основных понятия: "психический стресс" (*mental stress*) и "психическое напряжение" (*mental strain*). В английской версии стандарта (EN ISO 10075-1:2000-11) термин "стресс", имеющий негативный оттенок, был в последующем заменен термином "нагрузка" [26]. Согласно стандарту, психическая нагрузка относится к рабочему окружению и характеризуется комплексом факторов, воздействующим на индивида в процессе деятельности: содержание задачи, технические средства (оборудование, автоматика), физические и социальные условия. Психическая нагрузка вызывает психическое напряжение у индивида, которое характеризуется такими состояниями как мобилизация, вработывание (облегчают выполнение задачи), психическое утомление, снижение бдительности, психическое пресыщение (ухудшают выполнение задачи). Многие западные исследователи дополнительно включают в предложенную стандартом ISO 10075-1 модель индивидуальные характеристики оператора, которые могут влиять на уровень психического напряжения: способности [19,28,29], мотивация [19,31], выбор целей и стратегии выполнения [19,31], физическое состояние и настроение [19,31], подготовка и опыт работы [19]. В психическом напряжении выделяют когнитивную составляющую (обусловленную объективным содержанием задачи, например, числом контролируемых параметров) [22,29,30] и эмоциональную (отражает вероятность ошибочного действия,

значимость последствий ошибки и результата деятельности для индивида) [25]. Заметим, что во многих из перечисленных работ для описания психической нагрузки используется понятие "требования к выполнению задачи" (task demand), а термином психическая нагрузка обозначается психическое напряжения (также можно встретиться с термином "психические усилия" – mental effort). В дальнейшем мы будем исходить из терминологии, которая была предложена стандартом ISO 10075-1:2000.

В отечественных исследованиях психофизиологии умственного труда наиболее часто используется понятие "функциональное состояние" [4], при этом психическая нагрузка и характеристики индивида выступают внешними и внутренними факторами, от которых зависит актуальное функциональное состояние человека в процессе выполнения профессиональной деятельности. Например, еще в 1981 году в работе [3] было дано очень подробное описание факторов, влияющих на функциональное состояние человека в процессе трудовой деятельности, которым можно поставить в соответствие терминологию психической нагрузки и психического напряжения: среда обитания - физические условия рабочего окружения, социальная среда – социальные условия рабочего окружения, человек как субъект труда - индивидуальные характеристики индивида, орудия и средства труда - технические условия рабочего окружения, содержание трудового процесса - содержание задачи. Легко заметить, что и психическое напряжение и функциональное состояние определяются одними и теми же факторами. Оба понятия используются для объяснения одного и того же феномена – способности человека эффективно и надежно выполнить поставленную перед ним задачу. Но если психическое напряжение изначально рассматривалось как субъективное переживание психической нагрузки (цена деятельности для оператора), то истоки исследований функционального состояния человека лежат в объективном анализе физиологических показателей. Если для исследований психического напряжения привлечение физиологических процессов можно рассматривать скорее как вынужденную меру (из-за ограниченности субъективных оценок), то в рамках психологического анализа функциональных состояний человека физиологические процессы теснейшим образом взаимодействуют с психическими.

Ряд зарубежных авторов для описания психического напряжения оператора в процессе выполнения профессиональной деятельности используют следующую формулу: психическое напряжение = психическая нагрузка – способности индивида [28,29]. Другие исследователи добавляют к способностям различные характеристики индивида, которые могут повлиять на психическое напряжение (перечисленные ранее мотивация, цели и стратегии выполнения, физическое состояние и настроение, подготовленность и опыт работы) [19,31]. Такое формализованное представление психического напряжения,

возможно, и красиво, но на наш взгляд мало продуктивно. Если мы и можем, например, в ходе исследования жестко проконтролировать психическую нагрузку (содержание задачи, физическое и социальное окружение, технические средства), то такие переменные, влияющие на психическое напряжение, как мотивация, субъективный выбор целей и стратегий выполнения (например, ориентация на скорость или безошибочность), остаются во многом независимыми. Таким образом, эта формула не имеет операционального смысла.

Действительно, функциональное состояние оператора (включая и психическое напряжение) определяется характеристиками рабочего окружения (включая задачу) и характеристиками самого индивида. При этом существует связь функционального состояния оператора с эффективностью и надежностью выполнения им профессиональных задач, что требует создания эффективных и надежных методов и критериев для прямой оценки и непосредственного контроля функционального состояния человека в процессе его деятельности. Именно эта идея лежит в основе создания адаптивных автоматизированных систем, в которых информация о психическом напряжении человека оперативно используется для управления уровнем психической нагрузки: при значимо высоких уровнях психического напряжения часть функций оператора берет на себя автоматика, при значимом снижении активности оператора (включенности его в задачу [22]) автоматика возвращает часть функций управления человеку. Фактически в условиях реальной деятельности для нас не важно, почему оператор, например, испытывает психическое перенапряжение в конкретной ситуации: из-за чрезмерной рабочей нагрузки или из-за своих индивидуальных характеристик (это можно и нужно проанализировать потом, после окончания выполнения). Важно, чтобы системы автоматики были способны, получив информацию о перенапряжении оператора, перераспределить часть его функций и дополнительно подключить техническое или социальное окружение. По существу, рабочее окружение и оператор (его индивидуальные характеристики) образуют единую функциональную систему, согласно П.К. Анохину [1]. При этом, если ранее рабочее окружение выступало для оператора как внешнее звено саморегуляции [10], то в адаптивных автоматизированных системах сам субъект выступает для автоматики внешним звеном саморегуляции: критическое изменение функционального состояния оператора должно вести к изменению в рабочем окружении (техническом, физическом, социальном), что в свою очередь должно изменить психическую нагрузку и положительно повлиять на функциональное состояние человека.

Важнейшая задача исследований психического напряжения - это определение тех пороговых значений, за которыми следует ухудшение деятельности человека [19,33].

Первоначально модели психического напряжения анализировали негативное воздействие на действия оператора лишь экстремальных психических нагрузок [28]. В последующем в эти модели была добавлена область "деактивации" (снижения активности) оператора, что характерно для выполнения монотонной деятельности [17,20]. Если в первом случае выход за пределы пороговых значений требует уменьшения психической нагрузки на оператора, то во втором – повышения. Для контроля и оценки функционального состояния оператора используются как объективные, так и субъективные показатели. К первым можно отнести измерение различных физиологических показателей (электрокардиограмма, артериальное давление, электроэнцефалограмма, вызванные потенциалы, кожно-гальваническая реакция, активность глаз, дыхание, потоотделение, уровень кортизола в крови), видеоконтроль поведения, регистрация частоты коммуникаций и результатов деятельности (скорость и темп выполнения, число и характер ошибок). К субъективным показателям относятся различные самоотчеты и заполненные операторами опросники. Динамика и уровень физиологических показателей позволяет оценить функциональное состояние оператора в процессе выполнения задачи, а результаты деятельности – надежность и эффективность выполнения.

На сегодняшний день накоплен значительный материал по оценке психической нагрузки через контроль функционального состояния (психического напряжения) оператора в лабораторных и в "квазиоперативных" условиях (при выполнении задач на тренажерах), а также в процессе реальной деятельности. Наиболее популярными физиологическими показателями, используемыми для этих целей за последние 30 лет, были измерения сердечно сосудистой активности [29,34]. Еще в 1967 году В.В. Парин и Р.М. Баевский сформулировали концепцию, согласно которой анализ физиологических механизмов регуляции сердечного ритма дает возможность получить информацию о функциональном состоянии всего организма [9]. В недавнем обзоре технических средств для физиологических измерений [20], авторы оценили сердечно-сосудистые показатели (частота сердечных сокращений, вариабельность сердечного ритма) как наиболее удобные и пригодные для полевых исследований в связи с их надежностью, ненавязчивостью и простотой регистрации. Так показатели вариабельность сердечного ритма (ВСР) быстро реагируют на изменения уровня психического напряжения [12,21,22], которые отражают динамику психической нагрузки.

В своих исследованиях функциональных состояний операторов мы использовали предложенную нами трехфакторную модель ВСР [7]. Первый фактор данной модели отражает общий тонус вегетативной нервной системы (ВНС), суммарную активность как надсегментарных, так и сегментарных структур головного мозга, участвующих в

регуляции сердечного ритма (оценивается показателем $SDNN$ – стандартным отклонением R-R интервалов между комплексами QRS нормальных синусовых кардиоциклов N-N, без артефактов и экстрасистол). Второй фактор характеризует баланс между активностью надсегментарных и сегментарных структур головного мозга в регуляции сердечного ритма (оценивается показателем b_1 - тангенсом угла наклона линии регрессии графа ритма сердца: независимая переменная – исходный массив нормальных интервалов R-R_n, зависимая переменная – массив R-R_{n+1}): повышение значений b_1 за счет роста периода сердечных колебаний и снижения нелинейной динамики ВСП указывает на рост активности надсегментарных структур. Третий фактор тесно связан с балансом между симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС в регулировании сердечного ритма (оценивается показателем M_{NN} – средним значением нормальных R-R интервалов). Для диагностики функциональных состояний человека на основе трехфакторной модели ВСП основные показатели факторной структуры нормировались ($SDNN_n$, b_{1n} , M_{NNn}) методом перцентилей по данным референтной группы (848 здоровых мужчины, средний возраст - 29.73 лет, стандартное отклонение - 6.43 лет). Нормирование производилось по 9 диапазонам (табл. 1). Границы диапазонов (0.1, 2.3, 15.9, 30.9, 69.1, 84.1, 97.7 и 99.9%) соответствовали следующим значениям стандартного отклонения нормального распределения: -3, -2, -1, -0.5, +0.5, +1, +2, +3.

	0.1%	2.3%	15.9%	30.9%	69.1%	84.1%	97.7%	99.9%
M_{NN}	622	674	741	787	909	998	1153	1377
$SDNN$	10.9	18.7	30.6	37.7	55.0	66.8	96.7	147.1
b_1	-0.017	0.327	0.616	0.7201	0.845	0.886	0.934	0.961

Таблица 1. Границы диапазонов перцентилей для нормирования показателей трехфакторной модели ВСП.

Психическая нагрузка в наших исследованиях моделировалась с помощью заданий методики Шульте-Горбова "Черно-красная таблица" (компьютерный вариант данной методики был разработан в ЛПФО НВУТЦ). На экране дисплея в виде таблицы в случайном порядке располагались красные числа от 1 до 24 и черные от 1 до 25. Методика включала в себя три задания, первые два из которых имели объективно одинаковые требования к восприятию, оперативной памяти и вниманию исполнителя. В первом задании от операторов, которые проходили профессиональное обследование, требовалось найти и указать (с помощью "мыши") все числа красного ряда от 1 до 24, а во

втором - все числа черного ряда от 25 до 1. Субъекты контролировали цвет и последовательность числового ряда. С помощью первых двух заданий методики Шульте-Горбова моделировался умеренный уровень психической нагрузки. Третье задание представляло собой одновременное (параллельное) выполнение двух задач: необходимо выбрать все числа черного ряда от 25 до 1 (в убывающем порядке) и все числа красного ряда от 1 до 24 (в возрастающем порядке), чередуя числа из черного и красного ряд. Содержание третьего задания отражало более высокие требования к оперативной памяти и вниманию исполнителя, от которого требовалось одновременно контролировать цвет и последовательность двух числовых рядов, имеющих противоположную направленность. С помощью третьего задания методики Шульте-Горбова моделировался высокий уровень психической нагрузки. В каждом задании автоматически осуществлялся контроль допущенных обследуемым ошибок (максимум четыре на одну попытку) и выполненных попыток (максимум 3 на одно задание). По результатам выполнения трех заданий методики Шульте-Горбова для каждого обследуемого были получены объективные показатели деятельности: T_i - время выполнения задания, NC_i - количество ошибок на цвет, NS_i - количество ошибок на последовательность, NT_i - количество попыток (i – номер задания) и рассчитан суммарный показатель (sT) эффективности и надежности выполнения: $sT = T_i + 10 \times NC_i + 20 \times NS_i$. Экспериментальная программа включала в себя регистрацию сердечного ритма обследуемых (в положении "сидя в кресле") в исходном состоянии (активный покой), перед началом выполнения заданий (ситуация ожидания - антиципации), в процессе психической нагрузки (выполнение тестовых заданий) и после ее окончания (ситуация восстановления - размышления о выполненной задаче). Длительность регистрации сердечного ритма при выполнении теста – индивидуальная, во всех остальных случаях - 10 минут. На всех стадиях экспериментальной программы психолог фиксировал особенности поведения операторов. Стадии до и после выполнения ответственных заданий (антиципация и размышления) моделировали в первую очередь эмоциональный компонент психического напряжения, а выполнение тестовых заданий различной сложности – когнитивный.

Использование нормированных показателей трехфакторной модели ВСР позволило нам описать 8 классов функциональных состояний (табл. 2). Необходимо отметить, что речь идет именно о функциональных классах, а не функциональных состояниях. Например, функциональный класс "Норма" (ФК1) может содержать такие различные функциональные состояния как покой, глубокое расслабление, глубокий сон. Согласно трехфакторной модели ВСР все эти функциональные состояния объединяет: высокий общий тонус ВНС (высокие значения $SDNN_n$), преобладание активности сегментарных

структур головного мозга в регуляции сердечного ритма (низкие значения b_{1n}) и вагусной сердечной активности в симпато-вагусном балансе (высокие значения M_{NNn}). При этом функциональные состояния в рамках одного функционального класса будут различаться значениями нормированных показателей трехфакторной модели ВСР.

Нормированные показатели	SDNN _n [5÷9]		SDNN _n [1÷4]	
	b_{1n} [1÷4]	b_{1n} [5÷9]	b_{1n} [5÷9]	b_{1n} [1÷4]
M_{NNn} [5÷9]	ФК1	ФК3	ФК6	ФК8
M_{NNn} [1÷4]	ФК2	ФК4	ФК5	ФК7

Таблица 2. Определение функциональных классов (ФК) на основе нормированных показателей трехфакторной модели ВСР.

Для первого функционального класса "Норма" (ФК1) характерно низкое психическое напряжение, которое наблюдается при невысокой когнитивной и эмоциональной нагрузке, при выполнении монотонной, однообразной деятельности. В состоянии сонливости, дремы у здорового человека регистрируется снижение значений показателей b_{1n} и повышение M_{NNn} и SDNN_n. Эта динамика отчетливо просматривается в сеансах релаксации, при глубоком расслаблении [6].

Функциональные классы ФК3 ("Эмоциональное возбуждение") и ФК4 ("Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности") отражают воздействие высокой эмоциональной нагрузки на человека и характеризуются высоким общим тонусом ВНС и преобладанием активности надсегментарного уровня регулирования сердечного ритма за счет роста доли очень низкочастотных колебаний сердечного ритма - VLF. Согласно Р.М. Баевскому, увеличение мощности спектра в VLF диапазоне (менее 0.04 Гц) может свидетельствовать об активности высших надсегментарных центров вегетативной регуляции (гипоталамуса, лимбической системы, коры головного мозга), которые генерируют медленные ритмы, передающиеся к сердцу через симпатическую нервную систему [2]. Исследования Н.Б. Хаспековой убедительно доказывают, что показатель VLF можно использовать для оценки надсегментарного уровня регуляции сердечного ритма (эрготропной, церебральной симпатико-адреналовой активации), а показатели LF (0.04÷0.15 Гц, низкочастотный диапазон колебаний) и HF (0.15÷0.40 Гц, высокочастотный диапазон колебаний) – сегментарного (продолговатый мозг) уровня регуляции сердечного ритма (симпатико-парасимпатической активации)

[11]. Результаты исследований Н.Б. Хаспековой, выполненные на больных, совпадают с данными, которые мы получили при изучении функциональных состояний у здоровых обследуемых [5,6,7]. Согласно нашим исследованиям, активация надсегментарных (корково-лимбических) центров вегетативной регуляции играет важную роль в формировании колебаний ритма сердца в VLF диапазоне при эмоциональном и невротическом возбуждении. Это объясняет, почему в ситуациях антиципации (тревожного ожидания выполнения ответственного задания, наступления значимого события) и размышлений о результатах своих действий после выполнения теста, для которых характерно эмоциональное возбуждение, мы наблюдали выраженный рост показателя VLF. Положительная связь показателя b_1 с VLF и отрицательная с HF, полученная в исследовании [7], позволяет предположить, что показатель b_1 может служить маркером баланса между активностью надсегментарного (рост b_1 - возрастание VLF) и сегментарного (снижение b_1 - возрастание HF) уровнями регуляции сердечного ритма. Дополнительно отметим многочисленные исследования, в которых обосновывается зависимость когнитивно-опосредованных тревожных реакций от кортикальных (надсегментарных) структур [14], а также связь кортикальных и лимбических отделов головного мозга с управлением сегментарными центрами вегетативной регуляции, ответственными за сердечно-сосудистую деятельность [27]. Результаты перечисленных исследований согласуются с полученным нами данными роста частоты функциональных классов ФК3 ("Эмоциональное возбуждение") и ФК4 ("Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности") в ситуациях тревожного ожидания (антиципации) выполнения ответственного задания и после его выполнения (тревожные размышления и переживания по поводу результатов своих действий). Различные формы эмоционального возбуждения у операторов в процессе выполнения профессиональных задач могут быть вызваны также ошибочными действиями и осознанием всей серьезности их последствий, давлением времени и трудностями принятия решения в ситуациях чрезмерной психической нагрузки, когда операторы должны обработать большой объем информации за короткий период времени, а затрачиваемые психические усилия не позволяют достичь требуемого результата. Функциональный класс ФК4 также диагностируется при невротических расстройствах (невротическое эмоциональное возбуждение) [6].

Кратко перечислим основные особенности других классов функциональных состояний. Функциональный класс ФК2 ("Норма с преобладанием симпатической активности") регистрируется у лиц с высоким тонусом активности в состоянии покоя, а также при экономичной регуляции сердечного ритма в процессе психической нагрузки.

Функциональный класс ФК5 ("Психическое напряжение") типичен для психической нагрузки и отражает разные степени психического напряжения и концентрации усилий субъекта на задаче. Функциональный класс ФК6 ("Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса") отмечается при психическом утомлении, а также, согласно клиническим наблюдениям, может служить индикатором патологических процессов (снижение функциональных резервов организма, вызванное атеросклерозом, раком и другими тяжелыми заболеваниями). Функциональный класс ФК7 ("Психическое напряжение с преобладанием активности сегментарных структур"), согласно клиническим наблюдениям, может являться ранним предвестником сердечно-сосудистых нарушений (например, нарушения сердечного ритма). Функциональный класс ФК8 ("Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса и сегментарных структур") характерен для хронического психического утомления, глубокого снижения функциональных резервов. Таким образом, согласно трехфакторной модели ВСР, функциональные классы "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса" (ФК6) и "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса и сегментарных структур" (ФК8) могут рассматриваться как индикаторы процессов психического утомления. Наши исследования также показали, что функциональные классы "Норма" и "Норма с преобладанием симпатической активности", диагностированные в процессе воздействия психических нагрузок, когда наблюдается низкая надежность и эффективность деятельности, и когда отсутствуют объективные условия для развития монотонии и снижения активности оператора, могут служить индикаторами низкой мотивации субъекта на решение профессиональных задач.

Анализ результатов исследований, выполненных в нашей лаборатории, позволил установить связь успешности выполнения тестовых заданий с определенными функциональными состояниями, диагностированными с помощью трехфакторной модели ВСР. Были выделены три основных функциональных класса, при которых наблюдалась низкая эффективность и надежность выполнения тестовых заданий ($sT > 700$). Первые два – "Эмоциональное возбуждение" и "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" (ФК3 и ФК4): дисрегуляция деятельности при выраженном эмоциональном возбуждении [5] (трудности концентрации внимания). Третий функциональный класс, при котором зафиксированы неудачные выполнения тестовых заданий, – "Психическое напряжение" (ФК5): дисрегуляция деятельности на фоне психического перенапряжения ("сужение" внимания, ухудшение его переключаемости). Необходимо отметить, что на сегодняшний день основное внимание исследователей в области психической нагрузки сфокусировано на динамике когнитивного компонента

психического напряжения, при этом процессы эмоционального возбуждения редко попадают в поле внимания. Результаты наших исследований указывают на важность контроля процессов эмоционального возбуждения, которые могут привести к развалу деятельности, к резкому ухудшению психических процессов. Важно отметить, что источником чрезмерного эмоционального возбуждения и перенапряжения в процессе выполнения заданий в наших исследованиях служили индивидуальные характеристики обследуемых, а не уровень психической нагрузки. Последний вывод крайне важен как для организации процедуры профессионального отбора на оперативные должности, так и для контроля процесса подготовки специалистов [8].

Кроме указанных негативных функциональных состояний высокого психического напряжения и эмоционального возбуждения, в процессе реальной деятельности необходимо контролировать и функциональные состояния, связанные с низкими уровнями психического напряжения и активности субъекта [19,32]. Они могут быть обусловлены как объективными факторами - низкой психической нагрузкой в условиях монотонии, так и субъективными - низкой мотивация. В последнем случае, например, индивид не может справиться с задачей, но при этом у него диагностируется функциональный класс "Норма" (ФК1), характерный для состояния покоя. Указания обследуемому на допущенные ошибки, повторные пробы выполнения не мобилизуют его ресурсы и не влияют на результаты деятельности и его функциональное состояние (обычно неудача сопровождается либо ростом психического напряжения, либо ростом эмоционального возбуждения). В этих случаях дополнительная психодиагностика позволяет подтвердить гипотезу о снижении мотивации оператора на успешное прохождение обследований (безразличность к результату своих действий).

Важное место в обеспечении эффективного и надежного выполнения деятельности занимает контроль функциональных состояний, вызванных длительными психическими нагрузками, приводящими к утомлению (переутомлению) [34]. В этом случае наблюдается рассогласование динамики показателей и возрастает частота функциональных состояний, когда на фоне выраженного снижения показателя $SDNN_n$ (общего тонуса ВНС) наблюдается рост значений M_{NNn} (преобладание вагусной сердечной активности в симпато-вагусном балансе - функциональный класс ФК6), а также значительное снижение показателя b_{1n} (преобладание активности сегментарных структур головного мозга в регуляции сердечного ритма - функциональный класс ФК8).

В настоящее время существует проблема дифференциальной диагностики состояний утомления и монотонии, которые часто смешиваются авторами при проведении экспериментов. Если состояние монотонии (скуки, сонливости) порождается низкой

психической нагрузкой, то состояние утомления (снижения функциональных резервов) – высокой либо длительной психической нагрузкой. В процессе монотонной деятельности состояние утомления может развиваться при наличии длительных волевых усилий, направленных на поддержание необходимого уровня активности и бдительности оператора. Вот почему при моделировании монотонной деятельности исследователи могут столкнуться как с процессами нарастания расслабления, скуки, сонливости, так и с процессами психического волевого напряжения, которые могут вызвать состояние психического утомления. Если состояния монотонии характеризуются функциональным классом "Норма" (ФК1 - снижение активности, бдительности, сонливость), то состояния психического утомления функциональными классами "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса" и "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса и сегментарных структур" (ФК6 и ФК8). Противоречивость результатов, которая наблюдается в работах по исследованию состояний утомления, моделируемых экспериментально, может быть объяснена тем, что в реальности исследователи имели дело не с процессами утомления (снижением функциональных резервов), а с процессами монотонии (снижением активности). Например, в исследовании [19] у водителей при длительном движении по кольцевой дороге в действительности диагностировались не процессы утомления, а эффекты монотонии: повышение M_{NN} и рост SDNN. Также возрастание показателей BCP (SDNN, HF) при длительных задачах визуального слежения в работе [23] является отражением не утомления, как полагают авторы, а монотонии (естественное "выключение" оператора из задачи, не требующей активного вмешательства: скука - расслабление - сонливость). Наши выводы подтверждаются исследованиями состояния монотонии при выполнении повторяющихся, простых, однообразных задач на тренажере квалифицированными авиадиспетчерами [32]. В этих условиях отмечается повышение M_{NN} и рост показателей BCP (на фоне возрастания ощущения скуки). В исследовании [13] водители-профессионалы управляли различными видами трейлеров в реальных условиях транспортировки груза (моделировалась высокая психическая нагрузка). Было установлено значимое снижение M_{NN} и показателей BCP (HF, LF) во время движения по маршруту. Данная динамика характерна для класса функциональных состояний "Психическое напряжение" и отражает волевые усилия водителей-профессионалов на поддержание требуемого уровня бдительности и активности при выполнении ответственной задачи в течение длительного 8 часового периода. В работе [24] были проанализированы показатели BCP для пациентов с синдромом хронической усталости. Авторы установили значимое снижение SDNN и других показателей BCP в группе пациентов в сравнении с контрольной группой

здоровых добровольцев. При этом показатель M_{NN} не различался между группами. В этом случае мы можем отнести пациентов с синдромом хронической усталости к функциональным классам ФК6 и ФК8, которые рассматриваются нами как индикаторы процессов психического утомления.

Важное место в обеспечении надежности и эффективности деятельности операторов занимают исследования состояний тревоги, которые повышают чувствительность человека к признакам опасного развития событий и позволяют вовремя локализовать источник этой опасности, организовать ресурсы для его нейтрализации, выстроить адекватную линию поведения [5]. В тоже время, повышенная тревожность может мешать принятию правильного решения в критической ситуации, а тревожные переживания после локализации и ликвидации нарушения могут способствовать росту аллостатической нагрузки. В монографии [15] авторы предположили, что если когнитивно-опосредованные тревожные реакции имеют зависимость от кортикальных (надсегментарных) структур головного мозга, то элементарные реакции страха могут опосредоваться лишь подкорковыми (сегментарными) структурами. Построенная нами классификация функциональных состояний на основе трехфакторной модели ВСР не подтверждает эту гипотезу. Преобладание активности сегментарных структур головного мозга в управлении сердечным ритмом (низкие значения показателя b_1) характерно, например, функциональному классу "Норма" (ФК1) и достигает максимальных значений при глубоком расслаблении и во время сна. Моделирование ситуации тревожного ожидания выполнения ответственного задания позволило нам диагностировать три основных класса функциональных состояний: "Эмоциональное возбуждение" (ФК3), "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" (ФК4) и "Психическое напряжение" (ФК5). Все три функциональные классы характеризуются преобладанием активности надсегментарных структур головного мозга в регулировании сердечного ритма и различаются общим вегетативным тонусом. И если эмоциональное возбуждение можно рассматривать как "вхождение" субъекта в проблемную ситуацию (подготовка, мобилизация – высокий тонус ВНС), то психическое напряжение - как "включенность" субъекта в проблемную ситуацию, готовность действовать (тонус ВНС снижен). Мы предположили, что состояния тревожности характеризуются различными формами эмоционального возбуждения ("Эмоциональное возбуждение" и "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности"), а состояния страха – функциональным классом "Психическое напряжение". Существуют результаты исследований, которые могут служить подтверждением нашей гипотезы. Но данное предположение требует дополнительного анализа и решения методических вопросов

моделирования состояний страха и тревоги. Мы полагаем, что использование трехфакторной модели ВСП при исследовании тревожных состояний дает исследователям возможность для дифференцированной диагностики состояний эмоционального возбуждения и психического напряжения, с последующим анализом их психофизиологического содержания.

В заключении еще раз подчеркнем, что современные тенденции в развитии систем контроля и управления сложными технологическими процессами требуют обязательного включения функционального состояния оператора в качестве важнейшего компонента обеспечения эффективности и надежности его деятельности [35]. Разворачивающиеся исследования в этом направлении направлены на разработку методов и критериев оперативного контроля и оценки функциональных состояний человека в процессе выполнения ответственных задач.

Список литературы

1. Анохин П. К. Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Медицина, 1974. 446 С.
2. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина. 1997. 236 С.
3. Леонова А.Б., Медведев В.И. Функциональные состояния человека в трудовой деятельности. М.: Изд-во МГУ, 1981. 112 С.
4. Леонова А.Б. Психодиагностика функциональных состояний человека. М.: Изд-во МГУ, 1984. 199 С.
5. Машин В.А., Машина М.Н., Шмелева И.А. Психофизиологические исследования эмоциональной лабильности операторов АЭС // Вопросы психологии, 1997. № 4. С. 95-103.
6. Машин В.А., Машина М.Н. Анализ variability ритма сердца при негативных функциональных состояниях в ходе сеансов психологической релаксации // Физиология человека, 2000. Т. 26. № 4. С. 48-59.
7. Машин В.А., Машина М.Н. Классификация функциональных состояний и диагностика психоэмоциональной устойчивости на основе факторной структуры показателей variability сердечного ритма // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова, 2004. Т. 90. № 12. С. 1508-1521.
8. Машин В.А., Машина М.Н. Процедура профессионального отбора операторов АЭС // Вопросы психологии, 2005. № 3. С. 52-56.
9. Парин В.В., Баевский Р.М., Волков Ю.Н., Газенко О.Г. Космическая кардиология. Л.: Медицина, 1967. 206 С.

10. Судаков К.В. Системное построение функций человека. М.: ИНФ им. П.К. Анохина РАМН, 1999. 15 С.
11. Хаспекова Н.Б. Диагностическая информативность мониторинга вариабельности ритма сердца // Вестник аритмологии, 2003. № 32. С. 15-23.
12. Aasman J., Mulder G., Mulder L.J.M. Operator effort and the measurement of heart-rate variability // Human Factors, 1987. V. 29. № 2. P. 161-170.
13. Apparies R.J., Riniolo T.C., Porges S.W. A psychophysiological investigation of the effects of driving longer-combination vehicles // Ergonomics, 1998, V. 41. № 5. P. 581-592.
14. Berntson G.G., Sarter M., Cacioppo J.T. Anxiety and cardiovascular reactivity: the basal forebrain cholinergic link // Behavioural Brain Research, 1998. V. 94. № 2. P. 225-248.
15. Berntson G.G., Cacioppo J.T. Psychophysiology // D'Haenen H., Den Boer J.A., Willner P. (Eds.) Biological Psychiatry. Vol. 1. West Sussex, England: Wiley, 2002. P. 123-138.
16. Bonner M.A., Wilson G.F. Heart rate measures of flight test and evaluation // The International journal of aviation psychology, 2001. V. 12. № 1. P. 63-77.
17. Brookhuis K.A., De Waard D., Fairclough S.H. Criteria for driver impairment // Ergonomics, 2003. V. 46. № 5. P. 433-445.
18. Brookings J.B., Wilson G.F., Swain C.R. Psychophysiological responses to changes in workload during simulated air traffic control // Biological psychology, 1996. V. 42. № 3. P. 361-377.
19. de Waard D. The measurement of drivers' mental workload. Traffic Research Centre. The Netherlands: University of Groningen. 1996. P. 198.
<http://www.home.zonnet.nl/waard2/mwl.htm>
20. Fahrenberg J., Wientjes C.J.E. Recording methods in applied environments // Bachs R.W., Boucsein W. (Eds.) Engineering psychology: Issues and applications. London: Lawrence Erlbaum Associates, 2000. P. 111-136.
21. Jorna P.G. Heart rate and workload variations in actual and simulated flight // Ergonomics, 1993. V. 36. № 9. P. 1043-1054.
22. Kramer A.F. Physiological metrics of mental workload: A review of recent progress // Damos D.L. (Ed.) Multiple-Task performance. London: Taylor and Francis. 1991. P. 279-328.
23. Mascord D.J., Heath R.A. Behavioral and physiological indices of fatigue in a visual tracking task // Journal of safety research, 1992. V. 23. № 1. P. 19-25.
24. McCraty R., Lanson S., Atkinson M. Assessment of autonomic function and balance in chronic fatigue patients using 24-hour heart rate variability analysis // Clinical Autonomic Research, 1997. V. 7. № 5. P. 237.

25. Myrtek M., Brügger G., Müller W. Validation studies of emotional, mental and physical workload components in the field // Fahrenberg J., Myrtek M. (Eds.) Ambulatory assessment. Computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies. Seattle, WA: Hogrefe & Huber. 1996. P. 287-304.
26. Nachreiner F., Schultetus W. Standards to help improve the design of work systems and equipment // ISO bulletin, June 2003. P. 6-11.
27. Neafsey E.J. Prefrontal cortical control of the autonomic nervous system: anatomical and physiological observations // Progress in brain research, 1990. № 85. P. 147–166.
28. O'Donnell R.D., Eggemeier F.T. Workload assessment methodology // Boff K.R., Kaufman L., Thomas J.P. (Eds.) Handbook of perception and human performance. Vol. II. Cognitive processes and performance. New York: Wiley, 1986. P. 42/1 - 42/49.
29. Prinzel L.J., Parasuraman R., Freeman F.G., Scerbo M.W., Mikulka P.J., Pope A.T. Three experiments examining the use of electroencephalogram, event-related potentials, and heart-rate variability for real-time human-centered adaptive automation design. NASA TP-2003-212442. Hampton, VA: NASA Langley Research Center. 2003. 70 p.
(<http://techreports.larc.nasa.gov/ltrs/PDF/2003/tp/NASA-2003-tp212442.pdf>)
30. Roscoe A.H. Assessing pilot workload. Why measure heart rate, HRV and respiration? // Biological psychology, 1992. V. 34. № 2-3. P. 259-287.
31. Rouse W.B., Edwards S.L., Hammer J.M. Modeling the dynamics of mental workload and human performance in complex systems // IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. 1993. V. 23. № 6. P. 1662-1671.
32. Straussberger S., Schaefer D., Kallus K.W. A psychophysiological investigation of the concept of monotony in ATC: Effects of traffic repetitiveness and traffic density / Proceedings of the 1st ICRAT, University of Zilina, Slovakia. 2004. P. 199-208.
33. Wierwille W.W., Eggemeier F.T. Recommendation for mental workload measurement in a test and evaluation environment // Human Factors, 1993. V. 35. № 2. P. 263-281.
34. Wilson G.F. In-flight psychophysiological monitoring / Fahrenberg J., Myrtek M. (Eds.) Progress in ambulatory monitoring. Seattle, WA: Hogrefe & Huber. 2001. P. 435-454.
35. Wilson G.F., Russell C.A. Operator functional state classification using multiple psychophysiological features in an air traffic control task // Human Factors, 2003. V. 45. № 3. P. 381-389.