

К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА

МАШИН В. А., Центральный институт повышения квалификации ГК «РОСАТОМ», Москва

В данной статье рассмотрены различные подходы к классификации функциональных состояний человека. В основу сравнительного анализа была положена предложенная нами классификация функциональных состояний с позиций трехфакторной модели вариабельности сердечного ритма. Данная модель отражает современные представления о нейрофизиологических механизмах регулирования деятельности и поведения человека и позволяет диагностировать функциональные состояния как при воздействии различных психоэмоциональных нагрузок, так и при их отсутствии. Для проведения сравнительного анализа были использованы классификации функциональных состояний, построенные на основе таких характеристик, как эффективность деятельности (работоспособность) и психическое напряжение (цена деятельности). Показана теоретическая и операциональная неопределенность данных понятий, затрудняющая классификацию и диагностику функциональных состояний, а также ограниченность их применения лишь областью профессиональной деятельности.

Ключевые слова: функциональное состояние, классификация, психическое напряжение, психическая нагрузка, вариабельность сердечного ритма.

Профессиональная деятельность человека определяется внешними факторами: содержанием задачи, рабочим окружением (оборудование, физическая и социально-организационная среда), – а также внутренними: мотивацией, когнитивными процессами, функциональным состоянием (Машин, 2007а). В понятие функционального состояния мы вкладываем следующее содержание: функциональное состояние – это характеристика нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих согласованную активность психических, соматических и вегетативных функций в процессе деятельности или поведения человека.

В основе мотивации (побуждающей и направляющей наше поведение), когнитивных процессов (поиск, переработка и хранение информации, принятие решений) лежит активность структур головного мозга. Приспособление субъекта к изменяющимся условиям внешней среды, его физическая и психическая активность, характеризующие, согласно У. Хесс (Hess, 1964) и Э. Геллхорн (Gellhorn, 1968, 1970), «эрготропное» поведение, требуют от неспецифических (надсегментарных) корково-лимбических структур головного мозга обеспечения согласованного ответа психических, соматических и вегетативных функций (Вейн, 2003). При этом специфические (сегментарные) структуры головного мозга, образованные симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы (ВНС), способствуют поддержанию гомеостатического равновесия. В состоянии относительного покоя, при отсутствии как возмущающих воздействий, так и активной деятельности любого характера («трофотропное» поведение по У. Хесс и Э. Геллхорн), сегментарные структуры головного мозга могут обеспечить существование организма на рефлекторном уровне (Вейн, 2003) (примером могут служить «бульбарные» животные). Необходимо заметить, что уровень активности надсегментарных структур головного мозга (и, следовательно, степень психической активности, моторной готовности, вегетативной мобилизации) зависит от значимости и глубины «погружения» субъекта в ситуацию (от его мотивации) (Вейн, 2003). В процессе выполнения профессиональной деятельности психическая нагрузка, определяемая содержанием задачи и рабочим окружением (Машин, 2007а), влия-

ет на когнитивные процессы, которые, в свою очередь, также определяют уровень активности надсегментарных структур головного мозга. Таким образом, эрготропные формы поведения обеспечиваются активностью надсегментарных структур головного мозга (через широкое использование структур симпатического отдела ВНС), трофотропные – активностью сегментарных структур головного мозга (в первую очередь парасимпатического отдела ВНС). Показатели активности надсегментарных и сегментарных структур головного мозга (А. М. Вейн использовал понятия надсегментарных и сегментарных отделов ВНС), обеспечивающих согласованную активность психических, соматических и вегетативных компонентов деятельности и поведения человека, и послужили нам индикаторами его функционального состояния. Для оценки активности надсегментарных и сегментарных структур головного мозга мы использовали индексы вариабельности сердечного ритма (ВСР).

Результаты нейрофизиологических исследований второй половины XX века установили важную роль активности надсегментарных (неспецифических) структур головного мозга в регулировании сердечно-сосудистой деятельности в процессе различных форм поведения. Механизмы взаимодействия структур головного мозга и сердца нашли свое отражение в модели воздействия стрессоров на человека Дж. Скиннера (Skinner, 1985) и концепции механизмов внимания М. Познера (Posner, 1994). Нейрофизиологами были описаны комплексы структур головного мозга, включенные в когнитивную, аффективную и вегетативную регуляцию, которые обеспечивают целенаправленное поведение и адаптацию организма к новым условиям (Damasio, 1994, 1998; Masterman, Cummings 1997): например, центральная вегетативная нервная сеть (Benarroch, 1993, 1997), передняя управляющая область головного мозга (Devinsky et al., 1995). Согласно модели нейровегетативного взаимодействия, предложенной Дж. Таером и Р. Лэйном (Thayer, Lane, 2000), все эти структуры имеют много общего как анатомически, так и функционально, а их активность детерминирует не только когнитивно-аффективное поведение, но и ВСР. Таким образом, с помощью показателей ВСР можно оценить важные аспекты регуляции деятельности и поведения (включая функциональное состояние человека) благодаря возможности этих показателей отражать механизмы взаимодействия надсегментарных и сегментарных структур головного мозга.

В своих исследованиях мы обосновали трехфакторную модель вегетативной регуляции сердечного ритма (Машин, Машина, 2004) (см. рис. 1). Первый фактор этой модели отражает общий тонус ВНС и оценивается показателем $SDNN$ – среднее квадратическое отклонение R-R интервалов анализируемого временного ряда (Степура и др., 2001). Второй фактор характеризует баланс активности надсегментарного и сегментарного отделов ВНС и оценивается показателем b_1 – тангенс угла наклона линии регрессии графа сердечного ритма (Машин, Машина, 2004; Машин, 2006). Третий фактор определяет баланс активности симпатического и парасимпатического отделов ВНС и оценивается показателем M_{NN} – средний R-R интервал анализируемого временного ряда (Coumel et al., 1995; Goldberger, 1999; Murakawa et al., 1993).

Предложенная трехфакторная модель вегетативной регуляции сердечного ритма позволила нам выделить восемь функциональных классов, которые описывают состояние человека в процессе как эрготропного (психическая или физическая нагрузка), так и трофотропного поведения (покой) (Машин, Машина, 2004). Каждый класс представляет собой непрерывный континуум функциональных состояний в диапазоне, который задается минимальными и максимальными значениями нормированных показателей трехфакторной модели ВСР. Например, для первого класса «Норма» (ФК1), характерного для трофотропного



Рис. 1. Трехфакторная модель вегетативной регуляции сердечного ритма

поведения (высокий общий тонус ВНС – высокие значения $SDNN$, преобладание активности сегментарного отдела ВНС – низкие значения b_p , преобладание активности парасимпатического отдела ВНС – высокие значения M_{N-N}), можно выделить 12 уровней функциональных состояний: начальные – активный покой, далее – различные стадии расслабления и наивысшие уровни – глубокий сон (максимально возрастает активность сегментарного и парасимпатического отделов ВНС) (Машин, 2007а). Поэтому важно не только отнесение функциональных состояний к тому или иному классу, но и степень их выраженности в единицах

нормированных значений показателей трехфакторной модели вегетативной регуляции сердечного ритма. Кратко охарактеризуем остальные семь функциональных классов.

Важной особенностью первых четырех функциональных классов является высокий общий тонус ВНС. Во втором функциональном классе «Норма с преобладанием симпатической активности» (ФК2), в отличие от первого, наблюдается преобладание активности симпатического отдела ВНС в симпато-вагусном балансе. Данный функциональный класс диагностируется у лиц с высоким тонусом активности в состоянии покоя, а также при экономичной регуляции сердечного ритма в процессе психической нагрузки (Баевский и др., 1988). Следующий функциональный класс «Эмоциональное возбуждение» (ФК3) отличается от класса «Норма» преобладанием активности надсегментарного отдела ВНС. Если при этом дополнительно наблюдается преобладание активности симпатического отдела ВНС, то диагностируется четвертый функциональный класс «Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности» (ФК4). Функциональные состояния данных классов характерны для периодов тревожного ожидания выполнения ответственных заданий (мобилизационная фаза эрготропной деятельности), а также для периодов после их выполнения (переходная фаза от эрготропной к трофотропной деятельности) (Машин, 2007б).

Для заключительных функциональных классов предложенной классификации характерен низкий общий тонус ВНС (низкие значения $SDNN$). Состояния пятого функционального класса «Психическое напряжение» (ФК5, преобладание активности надсегментарного и симпатического отделов ВНС – высокие значения b_p и низкие M_{N-N}) типичны для воздействия когнитивного компонента психической нагрузки и отражают разные степени психического напряжения и концентрации усилий субъекта на задаче (исполнительная фаза эрготропной деятельности). Шестой функциональный класс «Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса» (ФК6) отличается от предыдущего преобладанием активности парасимпатического отдела ВНС. Функциональные состояния данного класса диагностируются при психическом утомлении с астено-невротической симптоматикой, а также могут служить индикаторами патологических процессов (атеросклероз, рак) и вызванных ими ипохондрических мыслей. Следующий функциональный класс «Психическое напряжение с преобладанием активности сегментарных структур» (ФК7) диагностируется в процессе психической нагрузки, но

в отличие от класса «Психическое напряжение» в этом случае наблюдается парадоксальная активность сегментарного отдела ВНС (снижение показателя b_1). Анализ показал, что снижение b_1 обусловлено наличием в динамике сердечного ритма низкоамплитудного стохастического шума в высокочастотной области. Согласно полученным клиническим данным (анализ ЭКГ), обнаружение такого стохастического шума в процессе психической нагрузки может служить ранним индикатором развития нарушений проводимости сердца. Другой возможный источник высокочастотного стохастического шума – помехи от мышечных сокращений при регистрации сердечного ритма. Последний функциональный класс «Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса и сегментарных структур» (ФК8) имеет много общего с классом «Норма». Главное отличие – низкий общий тонус ВНС. Функциональные состояния данного класса характерны для хронических форм психического утомления.

Предложенная на основе нейрофизиологического анализа активности структур головного мозга классификация функциональных состояний не ограничивается лишь рамками описания и анализа профессиональной деятельности человека (эрготропные формы поведения). Она позволяет анализировать функциональные состояния человека и при отсутствии психической нагрузки (относительный покой), и в процессе сеансов релаксации, и во время сна (трофотропные формы поведения). Время после выполнения человеком своей работы можно рассматривать как период «профилактики», период восстановления его функционального состояния для выполнения очередных задач. Если восстановления не происходит, то постепенно у субъекта развиваются такие негативные функциональные состояния, как хронические формы психического напряжения и утомление (на языке нейроэндокринологии – возрастает «аллостатическая нагрузка»), которые мы можем наблюдать в состоянии относительного покоя. У субъекта нарушается способность к восстановлению (на психическом, соматическом и вегетативном уровне), что постепенно может привести к развитию различных заболеваний. Концепция аллостатической нагрузки (*allostatic load*) была предложена Б. Макьюэном и Э. Стелларом (McEwen, Stellar, 1993; McEwen, Seeman, 1999) именно с целью построения прогнозов развития различных болезней и исходит из эффекта «накопления» стрессовых факторов различной интенсивности в течение жизни. Она позволяет объяснить, почему после окончания психической нагрузки у человека наблюдаются функциональные состояния, характерные для выполнения профессиональной деятельности. С помощью трехфакторной модели вегетативной регуляции сердечного ритма мы можем диагностировать следующие негативные функциональные состояния при отсутствии психической нагрузки: хроническое психическое напряжение (ФК5), хроническое психическое утомление (ФК8), хроническое утомление на фоне развития болезни (ФК6). Конфликтные ситуации на производстве (как и в быту) могут выражаться в состояниях эмоционального возбуждения (ФК3, ФК4).

Именно такие факторы, как мотивация, когнитивные процессы и функциональное состояние субъекта, определяют надежность и эффективность выполнения им оперативной деятельности (рис. 2). Моделирование высоких психоэмоциональных нагрузок в наших исследованиях психологической устойчивости (Машин, Машина, 2004) позволило определить функциональные классы, а также степень их выраженности, при которой может произойти дезорганизация деятельности человека (резкое падение эффективности выполнения). Это функциональные классы, связанные с эмоциональным перевозбуждением (ФК3 и ФК4) и психическим перенапряжением (ФК5, ФК6, ФК7). Очень важно заметить, что в этом случае все субъекты отличались высокой мотивацией и хорошим уровнем когнитивного функционирования. Решающим фактором низкой психоэмоциональной устойчиво-



сти служили психофизиологические особенности операторов (нарушение протекания когнитивных процессов в условиях эмоционального перевозбуждения или психического перенапряжения). Результаты этих исследований могут быть полезны как для отбора персонала на должности, требующие хорошей психоэмоциональной устойчивости, так и для оперативного контроля и управления функциональным состоянием человека через воздействие на рабочее окружение и перераспределение рабочей нагрузки, как это планируется в адаптивных автоматизированных системах (рис. 2).

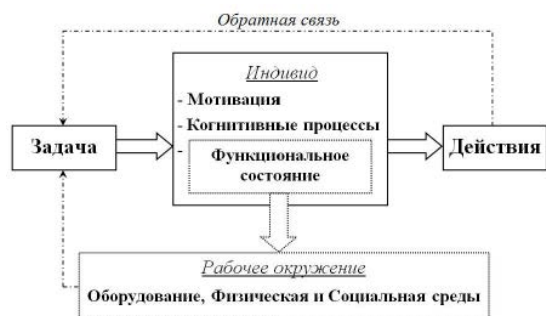


Рис. 2. Оперативный контроль функционального состояния человека для регулирования психической нагрузки в процессе деятельности

функционирования могут не испытывать перевозбуждения или перенапряжения. Главные их трудности лежат именно в области когнитивного функционирования. Такие лица могут быть отсеяны на стадии отбора и подготовки на оперативную должность. В то же время при высоком уровне когнитивных функций, в ситуации высокой психоэмоциональной нагрузки функциональные состояния психического перенапряжения или эмоционального перевозбуждения могут резко снизить эффективность когнитивных процессов и нарушить выполнение деятельности. Таким образом, оперативно контролируя развитие таких негативных функциональных состояний, мы сможем контролировать и эффективность когнитивных процессов при выполнении деятельности.

Другой фактор, который определяет эффективность и надежность выполнения деятельности, – это мотивация субъекта. В одном из исследований нами описан пример низкой мотивации при моделировании высокой психоэмоциональной нагрузки (Машин, Машина, 2004). Во время выполнения заданий у субъекта диагностировался функциональный класс «Норма». При этом возникающие при выполнении сложности (задержки в поиске информации), совершаемые ошибки (выбор неверного элемента из массива) не вызывали эмоционального возбуждения (тревожно-мобилизующих реакций), не приводили, как это наблюдалось у других обследуемых, к росту психического напряжения (концентрации усилий на задаче). У субъекта стабильно диагностировался функциональный класс «Норма». Собеседование с обследуемым подтвердило гипотезу низкой мотивации субъекта к работе оператором (случайно попал в группу, скомплектованную для обучения на оперативную должность). Обычно контроль мотивации проводится на стадии отбора (включая групповой ассессмент) и в процессе длительной и интенсивной подготовки на оперативную должность. В процессе деятельности мотивационный компонент может быть крайне динамичным, зависящим от многих факторов: содержание выполняемой задачи, рабочее окружение (социально-организационная среда). Высокая мотивация субъекта может выражаться в эмоциональном перевозбуждении,

в психическом перенапряжении. Снижение мотивации в процессе выполнения деятельности, которое сопровождается, например, в ситуации монотонии снижением alertности (*alertness* – состояние готовности в ситуации относительного покоя активно реагировать на критические изменения в управляемом объекте, принимать взвешенные, продуманные решения), может приводить к развитию выраженных состояний функционального класса «Норма» (сонливость, дремота). Оперативно контролируя функциональные состояния, можно предотвратить снижение alertности через выделение дополнительной психической нагрузки для оператора.

После краткого изложения предложенной нами классификации функциональных состояний перейдем к рассмотрению основных подходов к решению этой проблемы в отечественных и западных исследованиях. В отечественной литературе по инженерной психологии и эргономике распространено определение функционального состояния как интегрального комплекса наличных характеристик тех функций и качеств человека, которые прямо или косвенно обуславливают выполнение деятельности (Зараковский и др., 1974; Леонова, Медведев, 1981). Само понятие функционального состояния вводится для характеристики эффективной стороны деятельности человека. Подчеркивается, что только в том случае, когда наблюдаются изменения в динамике эффективности трудовой деятельности, можно говорить об изменении функционального состояния. Первоначально под эффективностью понимались показатели результативности работы: производительность, качество и темп, количество ошибок. Но данные многочисленных исследований, свидетельствующие о том, что негативная динамика функциональных состояний (например, утомления) не сопровождалась изменением показателей результативности труда (компенсированная фаза утомления), заставили расширить содержание понятия эффективности и включить в него дополнительно такой показатель, как степень адекватности ответа функциональных систем на содержание деятельности – способ их функционирования и согласованности, расход психофизиологических ресурсов (цена деятельности) (Леонова, 1984). Но в этом случае возникает новая проблема: каким образом мы можем оценить показатель степени адекватности ответа функциональных систем? И что считать адекватным? Например, состояние сонливости адекватно монотонному характеру деятельности оператора высокотехнологичной системы, а психического перенапряжения – высокой рабочей нагрузке? И самое главное, показатель степени адекватности характеризует ФС (ответ функциональных систем на содержание деятельности), его отклонение от оптимального уровня. И в этом случае включение в понятие эффективности деятельности определения «степень адекватности» означает попытку расширения его содержания через показатели ФС. Но тогда мы приходим к логической тавтологии в ранее приведенном определении ФС, ведь оно обуславливает выполнение деятельности, ее эффективность, которая, собственно, и включает в себя результативность работы и (!) ФС (степень адекватности).

Противоречия становятся еще более отчетливыми при рассмотрении конкретных экспериментальных исследований функциональных состояний, проведенных на основе оценки эффективности деятельности. Например, в исследовании сменной динамики работоспособности (эффективность деятельности в течение рабочего дня), выполненном А. Б. Леоновой (1984), анализ проводился с использованием следующих показателей, отражающих, по мнению автора, изменения ФС человека: производительность труда, частота сердечных сокращений, результаты выполнения психометрических методик, субъективные оценки утомления. Следовательно, показатели результативности работы (производительности) характеризуют не только эффективность деятельности, но и ФС. В работе Л. Г. Дикой (2002), посвященной вопросам саморегуляции состояний, функциональ-



ные состояния диагностировались как с помощью психофизиологических и психологических показателей, так и, что важно отметить, показателей работоспособности (характеристик деятельности) оператора. Все это объясняется тем, что для сторонников данного подхода, как формулирует В. И. Медведев (2003), эффективность труда (темп, качество, производительность, количество ошибок) является такой же мерой ФС, как показатели функционирования физиологических систем (сердечной, дыхательной, эндокринной, двигательной) или показатели субъективных переживаний, таких, как усталость, раздражительность, скука или душевный подъем, собранность. В результате возникает фактическое совпадение содержаний понятий «эффективность деятельности» и «функциональное состояние», для измерения которых используются два основных набора инструментов, которые оценивают результативность труда и степень адекватности.

Данные противоречия обусловлены, с нашей точки зрения, ошибочной попыткой сторонников данного подхода использовать эффективность деятельности как главный критерий оценки функциональных состояний. В реальности понятие ФС нельзя строить на показателях производительности, качества или надежности труда, «растворив» его в эффективности деятельности и игнорируя многочисленные данные исследований о наличии самостоятельных нейрофизиологических механизмов, выполняющих интегрирующую роль в регуляции функциональных систем в процессе деятельности и поведения человека (Данилова, 1992).

Для оценки динамики функциональных состояний сторонники рассматриваемого подхода применяют метод «срезов» и предлагают использовать широчайший спектр физиологических и психометрических методик, опросники и личностные тесты, наблюдения, регистрацию поведения, результативные характеристики деятельности. Но в этом случае диагностика функционального состояния человека, как справедливо заметил Е. П. Ильин, подменяется простым описанием (перечислением) сдвигов в симптомокомплексе психических и психофизиологических функций (Ильин, 2005). Поскольку метод «срезов» актуального состояния человека позволяет исследователю получить лишь мозаичную картину разнонаправленных сдвигов отдельных параметров, в качестве критерия оценки изменения функционального состояния человека и было предложено использовать понятие эффективности деятельности (Леонова, 1984). Но, как показал наш анализ, теоретическая и операциональная неопределенность этого понятия не решают возникшей проблемы. Примером может служить исследование А. Б. Леоновой, в котором динамика функционального состояния оценивается на основании статистического анализа сдвигов отдельных показателей (средних по группам) между отдельными замерами, без использования методов многомерного анализа, основанного на выделении и оценке единого интегрального показателя или фактора (Леонова, 1984). Речь в этом случае может идти о функциональном состоянии отдельных систем (сердечной, дыхательной, эндокринной, двигательной, зрительной) и процессов (прием и переработка зрительной информации, запоминание и воспроизведение чисел, абстрактное мышление), обеспечивающих выполнение деятельности. Заметим, что при применении метода «срезов» необходимо учитывать важный фактор, который, согласно многочисленным экспериментам, может оказывать существенное влияние на результаты исследований, – это характеристика гетерогенности (неоднородности) субъектов исследования относительно динамики анализируемых показателей функциональных состояний (Данилова, 1992; Машин, 2007б, 2007в; Healey, Picard, 2005; Mezzacappa et al., 2001).

В рамках рассматриваемого подхода была предложена следующая классификация функциональных состояний. В ее основу была положена динамика работоспособности (эффективности трудовой деятельности) (Зараковский и др., 1974). Различным фазам (этапам) изменения работоспособности в процессе выполнения оператором своей деятельности соответствовали изменения его функционального состояния: (1) мобилизация, (2) первичная реакция, (3) гиперкомпенсация, (4) компенсация, (5) субкомпенсация, (6) декомпенсация, (7) срыв. Сразу же заметим, что неопределенность понятия «эффективность трудовой деятельности» («работоспособность») делает описание фаз крайне размытым и трудным для экспериментальной проверки. Кроме указанных фаз, авторы дополнительно вводят состояние оперативного покоя (нулевая фаза), которое должно обеспечить выполнение трудовой деятельности. Более корректно назвать его фоновым состоянием (*background state*), характерным для человека за рамками его деятельности при отсутствии какой-либо внешней нагрузки. И сразу возникает противоречие: каким образом в рамках данного подхода мы можем оценить функциональное состояние при отсутствии главного критерия – эффективности деятельности? Авторы не уточняют, что мы должны контролировать: кроме того, отсутствует операциональное определение самого понятия «состояние» (как, впрочем, и для других фаз деятельности). Если исходить из нашей классификации, то оптимальное фоновое состояние человека должно соответствовать функциональному классу «Норма» (ФК1). При наличии аллостатической нагрузки мы будем диагностировать либо функциональные состояния психического напряжения (ФК5), либо различные формы психического утомления (ФК6 и ФК8). В этом случае необходима профилактика хронических форм психического напряжения и утомления. При диагностике выраженного функционального класса ФК6 необходимы дополнительные медицинские данные, свидетельствующие о низкой вероятности развития заболеваний. Кроме этих негативных состояний, мы можем наблюдать различные формы эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4), вызванные переживанием конфликтной ситуации, в которую вовлечен субъект. В этом случае могут потребоваться психологические консультации. В наших исследованиях показана эффективность сеансов релаксации (аутотренинга) для коррекции различных негативных состояний (Машин, Машина, 2001). Таким образом, уже в фоновом состоянии, согласно нашей классификации, мы можем наблюдать разнообразные функциональные состояния, отличные от «Нормы», источником которых может быть как профессиональная деятельность индивида, так и различные жизненные ситуации.

Рассмотрим теперь фазу мобилизации. Это состояние «предстартового» ожидания, готовности к выполнению деятельности. Мы используем для этой фазы понятие «исходное состояние» (*baseline state*). Для этого состояния, согласно авторам (Зараковский и др., 1974), характерно повышение тонуса центральной нервной системы (ЦНС) и усиление функциональной активности ряда органов и систем. Действительно, согласно нашей классификации, для периода ожидания выполнения ответственного и нового для субъекта задания характерно преобладание функциональных классов эмоционального возбуждения ФК3 и ФК4 (свыше 52% от числа всех обследованных; мобилизационная фаза эрготропного поведения) (Машин, 2007в). Они обеспечивают гибкую и быструю мобилизацию и подстройку функциональных систем для решения возникшей проблемы (Friedman, Thayer, 1998). Выраженность функциональных состояний данных классов может достигать при этом уровня ажитации (сильного волнения, возбуждения с повышенной двигательной активностью). В этом случае трудно согласиться с мнением авторов, что «субъективно эта фаза выражается в некотором отвлечении от внешних посторонних раздражителей, во внутрен-



ней собранности, обдумывании особенностей предстоящей работы» (Зараковский и др., 1974). Кроме классов эмоционального возбуждения, на этой стадии также отмечается значимо высокая частота функциональных состояний психического напряжения (ФК5, 29%). Функциональные состояния психического напряжения характерны для исполнительской фазы эрготропного поведения: функциональные системы мобилизованы и оптимизированы для выполнения текущей задачи (общий тонус ВНС снижен, и все основные ресурсы ЦНС направлены на обеспечение когнитивных процессов). Если эмоциональное возбуждение можно рассматривать как проявление пластичности, гибкой подстройки функциональных систем под содержание задачи (под уровень психической нагрузки), то психическое напряжение (в ситуации ожидания незнакомой задачи) – как проявление ригидности: функциональные системы находятся в режиме «выполнения» при отсутствии реальной психической нагрузки. Мы предположили, что состояния эмоционального возбуждения в этих ситуациях могут отражать различные реакции тревоги, а психического напряжения – страха (Машин, 2007 а, 2007 б). Необходимо отметить, что существует значимая доля «хладнокровных» субъектов, которые не испытывают ни эмоционального возбуждения, ни психического напряжения при ожидании выполнения ответственных заданий. Их функциональные состояния характеризуются классом «Норма» (ФК1, 8%) – активный покой.

Следующие две фазы (первичной реакции и гиперкомпенсации) в литературе нередко объединяют в одну фазу – втягивания, или вработываемости. В целом они характеризуются приспособлением человека к наиболее экономному, оптимальному режиму выполнения данной конкретной работы (Зараковский и др., 1974). Авторы иллюстрируют такие процессы лишь с помощью описания двигательных реакций, не конкретизируя специфику психофизиологических процессов. Если использовать нашу классификацию, то на этой стадии отмечается снижение частоты функциональных классов эмоционального возбуждения (ФК3, ФК4) и рост частоты функциональных классов психического напряжения (ФК5, ФК7). Динамика этого процесса, выраженность функциональных классов зависят от величины психоэмоциональной нагрузки.

Четвертая фаза – фаза компенсации: функциональное состояние организма становится стабильным, может превышать или быть равным исходному уровню (состоянию оперативного покоя), эффективность труда максимальна (Зараковский и др., 1974). Здесь авторы вводят новое понятие – «функциональное состояние организма». Интуитивно можно догадаться, что оно характеризует физиологические процессы, обеспечивающие выполнение деятельности оператором. Но тогда трудно представить, что в ситуации воздействия психической нагрузки (активная когнитивная деятельность оператора) функциональное состояние организма вернется к исходному (фоновому) уровню, как полагают некоторые исследователи. Согласно нашей классификации, для этой стадии (стадии активной когнитивной деятельности) будут характерны функциональные классы психического напряжения (ФК5, ФК7), выраженность которых отражает уровень психической нагрузки, которая будет изменяться при изменении содержания задач и рабочего окружения. Кроме этого необходимо учитывать эмоциональный компонент рабочей нагрузки, обусловленный возникновением непредвиденных ситуаций, осложнений при выполнении стандартных операций, совершением ошибочных действий и т.п. В этом случае наблюдается рост функциональных состояний эмоционального возбуждения (ФК3, ФК4), которые мобилизуют функциональные системы на преодоление внезапно возникших проблем. Такая сложная динамика функциональных состояний является характерной для активной когнитивной деятельности оператора (Машин, 2007 в).

Следующие две фазы (субкомпенсации и декомпенсации) в литературе объединяют также в одну фазу – утомление: при определенной интенсивности и длительности работы уровень физиологических реакций начинает снижаться, показатели функционального состояния ухудшаются, эффективность труда понижается (Зараковский и др., 1974); в качестве вегетативных нарушений выступает рост частоты сердечных сокращений. Согласно нашей классификации, процесс развития утомления можно представить следующим образом. Длительная интенсивная деятельность сопровождается психическим напряжением оператора (ФК5 и ФК7), что приводит к снижению функциональных ресурсов и возникновению различных форм психического утомления (ФК6 и ФК8). Этот процесс может быть растянут во времени и носить кумулятивный характер из-за неполного восстановления организма человека в периоды отдыха после трудовой деятельности и возрастания аллостатической нагрузки. Другой механизм развития утомления связан с монотонией. Очень часто монотонию описывают как функциональное состояние (Дикая, 2002; Леонова, 1984). С нашей точки зрения, монотония характеризует содержание деятельности, а не состояние (Асеев, 1974; Ильин, 2005). При монотонии, когда деятельность является однообразной, сенсорно обедненной, с низкой психической нагрузкой (например, контроль показателей приборов при автоматическом управлении авиалайнером или атомной станцией), возможны две основные копинг-стратегии оператора. Во-первых, с помощью волевых усилий попытаться сохранить необходимый уровень alertности (Meijman, 1997; O'Hanlon, 1972). Это требует значительного психического напряжения от субъекта (ФК5) и так же, как длительная психическая нагрузка, может привести к развитию функциональных состояний психического утомления (ФК6 и ФК8). Но наиболее часто в ситуации монотонии можно наблюдать вторую копинг-стратегию: снижение уровня активности, бдительности, внимания; возникновение состояния скуки, сонливости, дремоты. Добавим, что ежедневно оператор вынужден убеждаться в том, что оборудование надежно, а автоматика эффективна, а если к этому фактору добавить ночную смену, монотонное гудение приборов, накопленную усталость (Машин, 1994), то становится очевидно, что в результате у субъекта деятельности развиваются функциональные состояния класса «Норма» (ФК1), выраженность которых обусловлена глубиной процессов расслабления («погружения» в тропотропное поведение). Это приводит к снижению уровня alertности, и при возникновении внештатной ситуации субъект может оказаться не готов действовать. Для исключения подобных сценариев и должен служить оперативный контроль функционального состояния человека при выполнении деятельности.

Седьмая фаза – фаза срыва: значительное расстройство регулирующих механизмов, нарушение деятельности внутренних органов, резкое падение работоспособности, вплоть до невозможности продолжения работы (Зараковский и др., 1974). В описании современных высокоавтоматизированных производств данная фаза практически отсутствует. Исследователей в первую очередь интересуют функциональные состояния, которые могут привести к дезорганизации деятельности в ситуации высокой либо длительной психоэмоциональной нагрузки или монотонии. Например, наши исследования психологической устойчивости обнаружили, что критическими показателями для оценки функциональных состояний эмоционального перевозбуждения (ФК3 и ФК4) и психического перенапряжения (ФК5, ФК6, ФК7), негативно влияющих на надежность и эффективность деятельности, являются общий тонус ВНС (*SDNN*) и баланс активности надсегментарных и сегментарных отделов ВНС (*b_i*) (Машин, Машина, 2004). Не менее важен контроль функциональ-



ных состояний при низких психических нагрузках, когда в условиях монотонии развивается сонливость и дремота, наблюдается снижение alertности (ФК1), более рельефно выступают функциональные состояния психического утомления (ФК6 и ФК8), которые могут привести к снижению уровня когнитивных функций в процессе активных действий.

В представленной динамике работоспособности не хватает, с нашей точки зрения, еще одного важного этапа – этапа, следующего за выполнением деятельности. Он характеризуется не только восстановлением функциональных систем, участвовавших в обеспечении деятельности, но и размышлениями, переживаниями субъекта по поводу своих действий и достигнутого результата («руминации»). В наших исследованиях (Машин, 2007б) этой стадии также была получена пестрая картина функциональных классов, в которой доминировали состояния эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4): субъект мысленно возвращался к тому, что и как он делал, критически оценивая свой результат, допущенные ошибки, эмоционально переживая неудачи. Анализ функциональных состояний, их динамики на этой стадии может быть крайне полезным для оценки способностей субъекта к восстановлению после психоэмоциональных нагрузок и определению уровня аллостатической нагрузки. Длительное сохранение функциональных состояний эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4) или психического напряжения (ФК5) может служить ранним индикатором аллостатической нагрузки. Другие функциональные состояния, на которые необходимо обратить внимание, – это функциональные состояния психического утомления (ФК6 и ФК8).

Рассмотренная выше классификация функциональных состояний строится на представлениях о динамике работоспособности в процессе трудовой деятельности. Каждой фазе трудовой деятельности, согласно авторам, соответствует определенное функциональное состояние. Но наши исследования показали, что для различных стадий деятельности мы можем наблюдать очень широкий спектр функциональных состояний, их гетерогенность, в основе которой лежат индивидуальные особенности психофизиологических процессов. Данная классификация ввиду неопределенности основания – понятия «работоспособности» – носит в основном описательный характер и не содержит важных для специалистов критериев, в соответствии с которыми возможно проведение дифференциальной диагностики функциональных состояний. Подчеркнем также ограниченность ее исключительно сферой трудовой деятельности.

В западных исследованиях по инженерной психологии и эргономике для описания различных состояний в процессе деятельности используют понятие «психическое напряжение» (*mental strain*), понимаемое как «цена», которую оператор платит за выполнение задачи (*effort costs, physiological and psychological costs*). В настоящее время отсутствует общепринятое определение понятия «психическое напряжение». Ряд авторов для понимания психического напряжения предлагают следующую формулу: «психическое напряжение» = «психическая нагрузка» – «способности индивида» (Eggemeier, 1988; Sanders, McCormick, 1993; Prinzel et al., 2003). К способностям индивида добавляют мотивацию, цели и стратегии выполнения, физическое состояние и настроение, уровень подготовки и опыт работы (Rouse et al., 1993; De Waard, 1996; Collet et al., 2003). Из этой формулы следует один полезный вывод: в процессе выполнения когнитивной деятельности на изменение психического напряжения оператора (на его цену деятельности) можно реально воздействовать путем изменения психической нагрузки (исходный принцип построения адаптивных автоматизированных систем). Для измерения психического напряжения предлагается тот же широкий спектр методик, как и для оценки функционального состояния. При этом вновь ана-

лизируются отдельные функции и процессы, а не глубинные механизмы, регулирующие целостную реакцию функциональных систем на поставленную задачу.

Неопределенность термина «психическое напряжение» затрудняет не только диагностику, но и построение классификаций функциональных состояний. Рассмотрим классификацию, в основу которой положено понятие «требования задачи» («психическая нагрузка») (De Waard, 1996). Зависимость уровня выполнения задачи от уровня психической нагрузки определяется законом Йеркса-Додсона (инвертированная U-кривая): наличие максимального уровня выполнения при оптимальном уровне психической нагрузки и падение уровня выполнения при минимальных (деактивация) и максимальных (перегрузка) требованиях задачи. В то же время зависимость психического напряжения от уровня психической нагрузки имеет U-образную форму. D. De Waard выделил шесть областей (D, A1, A2, A3, B, C) на шкале требований задачи, которым он поставил в соответствие определенный уровень психического напряжения и выполнения.

Центральная область психической нагрузки «A2»: уровень выполнения – максимальный, уровень психического напряжения – минимальный. Оператор может легко справиться с требованиями задачи и сохранять без дополнительных усилий стабильный уровень выполнения при возрастании нагрузки в данном диапазоне. Согласно классификации функциональных состояний на основе трехфакторной модели ВСП, этой области психической нагрузки соответствует функциональный класс «Психическое напряжение» (ФК5, умеренная выраженность).

В диапазонах психической нагрузки «A1» и «A3» уровень выполнения значимо не ухудшается, но оператор должен приложить дополнительные усилия для его поддержания. Область «A1» – усилия обусловлены состоянием оператора: эффект монотонии (низкой психической нагрузки), которая вызывает скуку, апатию и компенсируется психическим напряжением (не приводит к снижению уровня выполнения). Эта область соответствует первой рассмотренной нами копинг-стратегии оператора в ситуации монотонии: использование волевого усилия для сохранения требуемого уровня alertности (ФК5), которое при длительных нагрузках подобного рода может привести к функциональным состояниям психического утомления (ФК6 и ФК8). Вероятно, именно такого рода усилия имеет в виду автор, когда характеризует крайнюю левую область с максимальным падением требований задачи – «D»: достижение минимума уровня выполнения при высоком уровне психического напряжения оператора, обусловленного нарушением его состояния (ухудшением способности выполнять деятельность). Очевидно, что здесь под психическим напряжением понимается скорее состояние выраженного утомления, а не перенапряжения, что, согласно нашей классификации, соответствует функциональным классам ФК6 и ФК8 (максимальная выраженность). Заметим, что для областей психической нагрузки «A1» и «D» автор не рассматривает вторую копинг-стратегию поведения оператора в ситуации монотонии: снижение уровня активности, бдительности, внимания; развитие сонливости, дремоты. В этом случае мы должны наблюдать функциональные состояния класса «Норма» (ФК1), выраженность которых повышается с увеличением степени расслабления. Игнорирование данной формы поведения в ситуации низкой психической нагрузки во многом определено стремлением автора представить зависимость психического напряжения от требований задачи в виде U-образной зависимости.

В области психической нагрузки «A3» дополнительные усилия оператора связаны с требованиями задачи: рост требований задачи компенсируется психическим напряжением оператора (повышение выраженности функционального класса ФК5) и не приводит к



снижению уровня выполнения. При длительных психических нагрузках данного диапазона повышенное психическое напряжение может привести к стрессу и развитию опасных ситуаций. Согласно нашей классификации, последствиями длительных повышенных психических нагрузок могут быть функциональные состояния психического утомления (ФК6 и ФК8) либо хронического психического напряжения (ФК5).

Область психической нагрузки «В» характеризуется постепенным снижением уровня выполнения с ростом требований задачи при высоком уровне психического напряжения, что при длительных нагрузках может привести к перенапряжению оператора. Согласно нашим исследованиям, функциональные состояния данной области отвечают классам психического напряжения (ФК5 и ФК7), высокая выраженность которых может привести к дезорганизации деятельности.

Крайняя правая область психической нагрузки «С»: достижение минимума уровня выполнения с максимальным ростом требований задачи, оператор испытывает психическое перенапряжение. Согласно нашим исследованиям, в этом диапазоне мы, так же как для «D», должны наблюдать «ухудшение способности выполнять деятельность», но уже не за счет переутомления или снижения alertности, а за счет выраженного психического перенапряжения (ФК5 и ФК7).

Заметим, что все области психической нагрузки автор пытается охарактеризовать с помощью функциональных состояний психического напряжения, чего, как показывает проведенный нами беглый анализ, явно недостаточно. Кроме функциональных состояний оператора, связанных с утомлением (ФК6 и ФК8) и потерей alertности (ФК1), для обеспечения требуемого уровня выполнения крайне важно учитывать и функциональные состояния эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4), которые характерны при возникновении внештатных ситуаций, при совершении ошибочных действий.

Главная задача исследователя при использовании модели «областей»: где на шкале психической нагрузки в диапазонах «A1» и «A3» провести «красную черту» (*redline*), за которой дальнейшее понижение (область «D» – дезактивация) или повышение (область «В» – перегрузка) требований задачи могут привести к критическому снижению уровня выполнения. Эта задача является актуальной и для разработчиков адаптивных автоматизированных систем. Сложность ее заключается в том, что функциональное состояние оператора (например, психическое напряжение) определяется не только, а часто и не столько объективными характеристиками задачи, сколько индивидуальными характеристиками оператора (включая субъективные оценки трудности задачи) (Машин, 2007 а, 2007 б, 2007 в). Мы полагаем, что решение этой важнейшей практической задачи невозможно без анализа нейрофизиологических механизмов, выполняющих интегрирующую роль в регуляции функциональных систем в процессе деятельности и поведения человека.

Выполненный нами краткий анализ различных подходов высветил сложности, с которыми сталкиваются исследователи при определении функциональных состояний человека через такие понятия, как «эффективность деятельности» («работоспособность») и «психическая нагрузка» («требования задачи»). Исходная неопределенность понятий «функциональное состояние», «психическое напряжение», «цена деятельности» затрудняет их классификацию и диагностику. Понятие эффективности деятельности вводилось в качестве объективного критерия динамики функциональных состояний, но каким образом можно отделить влияние мотивации и когнитивных способностей человека на эффективность деятельности? В западных исследованиях все функциональные состояния пытаются описать

через психическое напряжение или цену деятельности (подобно шкале уровней бодрствования В. Блока в теории активности), но как в таком случае можно дифференцировать состояния эмоционального возбуждения или психического утомления? Внимание исследователей направлено в первую очередь на анализ функциональных состояний отдельных систем и процессов, обеспечивающих выполнение профессиональной деятельности. Это может иметь практическую ценность при решении частных задач, например, при ранней диагностике сонливости у водителя или машиниста поезда, когда используются показатели электроокулограммы (изменение биопотенциалов глаза при его движении). Но для построения адаптивных автоматизированных систем управления, которые основаны на оперативном контроле функциональных состояний при различных психоэмоциональных нагрузках, нам требуется анализ центральных механизмов, выполняющих интегрирующую роль в регулировании деятельности и поведения человека.

В основу предложенной нами классификации положено представление о функциональном состоянии как о характеристике нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих согласованную активность психических, соматических и вегетативных функций в процессе деятельности или поведения человека. Для оценки нейрофизиологических механизмов была разработана трехфакторная модель ВСР, которая позволила классифицировать и диагностировать функциональные состояния человека как при воздействии различных психоэмоциональных нагрузок, так и при их отсутствии (в покое). Показательно, что на основании сравнительного анализа эффективности ряда физиологических методик для оперативного контроля функционального состояния оператора в адаптивных автоматизированных системах экспертами NASA (Scerbo et al., 2001; Prinzel et al., 2003) были рекомендованы: мониторинг ВСР, ЭЭГ-мониторинг и метод вызванных потенциалов. Заметим, что последние два метода непосредственно связаны с нейрофизиологической активностью структур головного мозга.

Литература

- Асеев В. Г. Преодоление монотонности труда в промышленности. М.: Экономика, 1974.
- Баевский Р. М., Барсукова Ж. В., Берсенева А. П., Тазетдинов И. Г., Кирилов О. И. Оценка функционального состояния организма на основе математического анализа сердечного ритма. Методические рекомендации. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988.
- Вейн А. М. Краткий анатомо-физиологический очерк // Вегетативные расстройства: Клиника, диагностика, лечение. М.: МИА, 2003. С. 14–43.
- Данилова Н. Н. Психофизиологическая диагностика функциональных состояний. М.: Изд. МГУ, 1992.
- Дикая Л. Г. Психология саморегуляции функционального состояния субъекта в экстремальных условиях деятельности: Дисс. ... д-ра психол. наук. М., 2002.
- Зараковский Г. М., Королев Б. А., Медведев В. И., Шлаен П. Я. Диагностика функциональных состояний: Введение в эргономику. М.: «Советское радио», 1974. С. 94–110.
- Ильин Е. П. Психофизиология состояний человека. СПб.: Питер, 2005.
- Леонова А. Б., Медведев В. И. Функциональные состояния человека в трудовой деятельности. М.: Изд. МГУ, 1981.
- Леонова А. Б. Психодиагностика функциональных состояний человека. М.: Изд. МГУ, 1984.
- Машин В. А. О психологической проблеме эксплуатации и управления АЭС // Электрические станции. 1994. № 3. С. 36–39.
- Машин В. А. Связь тангенса угла наклона линии регрессии графа сердечного ритма с периодической и нелинейной динамикой ритма сердца на коротких стационарных отрезках // Биофизика. 2006. Т. 51. № 3. С. 534–538.



- Машиш В.А.* Психическая нагрузка, психическое напряжение и функциональное состояние операторов систем управления // Вопросы психологии. 2007а. № 6. С. 86–96.
- Машиш В.А.* Трехфакторная модель variability сердечного ритма. Часть 2: Исследование тревожных состояний при моделировании операторской деятельности // Труды психологической службы в атомной энергетике и промышленности. Т. 3. Обнинск: Изд. ИГ-СОЦИН, 2007б. С. 190–198.
- Машиш В.А.* Трехфакторная модель variability сердечного ритма. Часть 1: Исследование психических нагрузок при моделировании операторской деятельности // Труды психологической службы в атомной энергетике и промышленности. Т. 3. Обнинск: Изд. ИГ-СОЦИН, 2007в. С. 181–189.
- Машиш В.А., Машина М.Н.* Анализ variability ритма сердца как инструмент контроля и оценки эффективности методов психологической релаксации // Вопросы психологии. 2001. № 1. С. 72–81.
- Машиш В.А., Машина М.Н.* Классификация функциональных состояний и диагностика психоэмоциональной устойчивости на основе факторной структуры показателей variability сердечного ритма // Росс. физиол. ж. им. И. М. Сеченова. 2004. Т. 90. № 12. С. 1508–1521.
- Медведев В.И.* Адаптация человека. СПб.: ИМЧ РАН, 2003.
- Стенура О.Б., Томаева Ф.Э., Гаджиев А.Н., Иванова С.В.* Variability сердечного ритма при хронической сердечной недостаточности (По материалам XIX–XXII конгрессов европейского общества кардиологов) // Российский кардиологический журнал. 2001. Т. 2. № 28. С. 59–67.
- Benarroch E.E.* The central autonomic network: Functional organization, dysfunction, and perspective // Mayo Clin Proc. 1993. V. 68. № 10. P. 988–1001.
- Benarroch E.E.* The central autonomic network // Clinical Autonomic Disorders / Ed. P.A. Low. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1997. P. 17–23.
- Collet C., Averty P., Delhomme G., Dittmar A., Vernet-Maury E.* Subjective aspects of mental workload in air-traffic control. Centre National de la Navigation Aerienne. France, 2003.
- Coumel P., Maison-Blanche P., Catuli D.* Heart Rate and Heart Rate Variability // Heart Rate Variability / Eds. M. Malik, A.J. Camm. Armonk, NY: Futura, 1995. P. 207–222.
- Damasio A.R.* Descartes' error: Emotion, reason and the human brain. Putnam Publishing Group, 1994.
- Damasio A.R.* Emotion in the perspective of an integrated nervous system // Brain Res Rev. 1998. V. 26. № 2-3. P. 83–86.
- Devinsky O., Morrell M.J., Vogt B.A.* Contributions of anterior cingulate cortex to behavior // Brain. 1995. № 118 (Pt. 1). P. 279–306.
- De Waard D.* The measurement of drivers' mental workload. Traffic Safety Research Centre VSC. University of Groningen. Haren, 1996.
- Eggemeier F.T.* Properties of workload assessment techniques // Human mental workload / Eds. P.A. Hancock, N. Meshkati. North-Holland: Elsevier Science Publishers, 1988. P. 41–62.
- Friedman B.H., Thayer J.F.* Anxiety and autonomic flexibility: a cardiovascular approach // Biol Psychol. 1998. V. 49. № 3. P. 303–323.
- Gellhorn E.* Conditioning, sensations, and the ergotropic-trophotropic balance // Integrative Psychological and Behavioral Science. 1968. V. 3. № 1. P. 34–44.
- Gellhorn E.* The emotions and the ergotropic and trophotropic systems // Psychological Research. 1970. V. 34. № 1. P. 48–66.
- Goldberger J.J.* Sympathovagal balance: how should we measure it? // Am J Physiol. 1999. V. 276. № 4 (Pt. 2). P. H1273–1280.
- Healey J.A., Picard R.W.* Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors // Intelligent Transportation Systems. 2005. V. 6. № 2. P. 156–166.
- Hess W.* The central control of the activity of internal organs // Nobel lectures. Physiology or medicine 1942–1962. Elsevier Publishing Company. Amsterdam, 1964. P. 243–260.
- Masterman D.L., Cummings J.L.* Frontal-subcortical circuits: The anatomical basis of executive, social and motivated behaviors // J Psychopharmacol. 1997. V. 11. № 2. P. 107–114.

- McEwen B. S., Stellar E. Stress and the individual. Mechanisms leading to disease // Arch Intern Med. 1993. V. 153. № 18. P. 2093–2101.
- McEwen B. S., Seeman T. Protective and damaging effects of mediators of stress. Elaborating and testing the concepts of allostasis and allostatic load // Ann NY Acad Sci. 1999. № 896. P. 30–47.
- Meijman T.F. Mental fatigue and the efficiency of information processing in relation to work times // International Journal of Industrial Ergonomics. 1997. V. 20. № 1. P. 31–38.
- Mezzacappa E. S., Kelsey R. M., Katkin E. S., Sloan R. P. Vagal rebound and recovery from psychological stress // Psychosom Med. 2001. V. 63. № 4. P. 650–657.
- Murakawa Y., Ajiki K., Usui M., Yamashita T., Oikawa N., Inoue H. Parasympathetic activity is a major modulator of the circadian variability of heart rate in healthy subjects and in patients with coronary artery disease or diabetes mellitus // Am Heart J. 1993. V. 126. № 1. P. 108–114.
- O'Hanlon J.F. Heart rate variability: A new index of driver alertness/fatigue // Society of Automotive Engineers (SAE). Report № 720141. New York, 1972. P. 1–7.
- Posner M. I. Attention in cognitive neuroscience: an overview // The cognitive neurosciences / Ed. M. S. Gazzaniga. Cambridge. MA. USA: MIT Press, 1994. P. 615–624.
- Posner M. I., Raichle M. E. Images of Mind. New York: Scientific American Library, 1994.
- Prinzel L. J. 3rd., 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: NASA Langley Research Center, 2003.
- 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.
- Sanders M. S., McCormick E. J. Human factors in engineering and design. NY: McGraw-Hill, 1993.
- Scerbo M. W., Freeman F. G., Mikulka P. J., Parasuraman R., Nocero F. D., Prinzel L. J. 3rd. The efficacy of psychophysiological measures for implementing adaptive technology. NASA/TP-2001-211018. Hampton: NASA Langley Research Center, 2001.
- Skinner J. E. Psychosocial stress and sudden cardiac death: brain mechanisms // Stress and Heart Disease / Eds. R. E. Beamish, P. K. Singal, N. S. Dhalla. Boston: Martinus Nijhoff Publishing, 1985. P. 44–59.
- Thayer J. F., Lane R. D. A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation // J Affect Disord. 2000. V. 61. № 3. P. 201–216.

SOME PROBLEMS OF OPERATOR FUNCTIONAL STATES CLASSIFICATION

MASHIN V. A., Central Institute of Advanced Education and Training, ROSATOM State Corporation, Moscow

Different approaches to operator functional states classification are considered. A functional states classification in terms of three-factor model of heart rate variability is set forth and tested to compare with other data. The proposed model reflects the modern concept of neuro-physiological regulation of performance and behavior. It enables one to diagnose the functional states both under different psycho-emotional workloads and in their absence. The functional states classifications on basis of operating efficiency (capacity for work) and mental strain (effort costs) are applied in comparative analysis. Theoretical and operational uncertainty these conceptions impeding classification and diagnostics of functional states are discussed, as well as their use limitation to only the field of professional activity.

Keywords: functional state, classification, mental strain, mental workload, heart rate variability.



Transliteration of the Russian references

- Aseev V. G.* Preodolenie monotonnosti truda v promyshlennosti. M.: Ekonomika, 1974.
- Baevskij R. M., Barsukova Zh. V., Berseneva A. P., Tazetdinov I. G., Kirilov O. I.* Ocenka funkcional'nogo sostojanija organizma na osnove matematicheskogo analiza serdechnogo ritma. Metodicheskie rekomendacii. Vladivostok: DVO AN SSSR, 1988.
- Vejn A. M.* Kratkij anatomo-fiziologicheskij ocherk // Vegetativnye rasstrojstva: Klinika, diagnostika, lechenie. M.: MIA, 2003. S. 14–43.
- Danilova N. N.* Psihofiziologicheskaja diagnostika funkcional'nyh sostojanij. M.: Izd. MGU, 1992.
- Dikaja L. G.* Psihologija samoreguljaciei funkcional'nogo sostojanija sub'ekta v jekstremal'nyh uslovijah dejatel'nosti: Diss. ... d-ra psihol. nauk. M., 2002.
- Zarakovskij G. M., Korolev B. A., Medvedev V. I., Shlaen P. Ja.* Diagnostika funkcional'nyh sostojanij: Vvedenie v jergonomiku. M.: «Sovetskoe radio», 1974. S. 94–110.
- Il'in E. P.* Psihofiziologija sostojanij cheloveka. SPb.: Piter, 2005.
- Leonova A. B., Medvedev V. I.* Funkcional'nye sostojanija cheloveka v trudovoj dejatel'nosti. M.: Izd. MGU, 1981.
- Leonova A. B.* Psihodiagnostika funkcional'nyh sostojanij cheloveka. M.: Izd. MGU, 1984.
- Mashin V. A.* O psihologicheskoy probleme ekspluatacii i upravlenija AES // Elektricheskie stancii. 1994. № 3. S. 36–39.
- Mashin V. A.* Svjaz' tangensa ugla naklona linii regressii grafa serdechnogo ritma s periodicheskoj i nelinejnoj dinamikoj ritma serdca na korotkih stacionarnyh otrezkah // Biofizika. 2006. T. 51. № 3. S. 534–538.
- Mashin V. A.* Psihicheskaja nagruzka, psihicheskoe naprjazhenie i funkcional'noe sostojanie operatorov sistem upravlenija // Voprosy psihologii. 2007 a. № 6. C. 86–96.
- Mashin V. A.* Trehfaktornaja model' variabel'nosti serdechnogo ritma. Chast' 2: Issledovanie trevozhnyh sostojanij pri modelirovanii operatorskoj dejatel'nosti // Trudy psihologicheskoy sluzhby v atomnoj energetike i promyshlennosti. T. 3. Obninsk: Izd. IG-SOCIN, 2007 b. S. 190–198.
- Mashin V. A.* Trehfaktornaja model' variabel'nosti serdechnogo ritma. Chast' 1: Issledovanie psihicheskikh nagruzok pri modelirovanii operatorskoj dejatel'nosti // Trudy psihologicheskoy sluzhby v atomnoj energetike i promyshlennosti. T. 3. Obninsk: Izd. IG-SOCIN, 2007 v. S. 181–189.
- Mashin V. A., Mashina M. N.* Analiz variabel'nosti ritma serdca kak instrument kontrolja i ocenki effektivnosti metodov psihologicheskoy relaksacii // Voprosy psihologii. 2001. № 1. S. 72–81.
- Mashin V. A., Mashina M. N.* Klassifikacija funkcional'nyh sostojanij i diagnostika psihojemocional'noj ustojchivosti na osnove faktornoj struktury pokazatelej variabel'nosti serdechnogo ritma // Ross. fiziol. zh. im. I. M. Sechenova. 2004. T. 90. № 12. S. 1508–1521.
- Medvedev V. I.* Adaptacija cheloveka. SPb.: IMCh RAN, 2003.
- Stepura O. B., Tomaeva F. Ye., Gadzhiev A. N., Ivanova S. V.* Variabel'nost' serdechnogo ritma pri hronichekskoj serdechnoj nedostatochnosti (Po materialam XIX–XXII) kongressov evropejskogo obshestva kardiologov) // Rossijskij kardiologicheskij zhurnal. 2001. T. 2. № 28. S. 59–67.