

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные автоматизированные системы управления высокотехнологичными процессами требуют обеспечения надежности человека-оператора, как важнейшего звена подобных систем [Машин В.А., 2007b]. Повышение надежности и сложности оборудования, увеличение доли автоматики в управлении системами сопровождаются ростом негативного влияния человеческого фактора в возникновении и развитии внештатных и аварийных ситуаций. Исследования показали, что функциональные состояния монотонии и психического перенапряжения оператора являются потенциальными источниками снижения эффективности и надежности его деятельности.

Идея контроля и управления функциональным состоянием оператора в процессе его реальной деятельности лежит в основе разработок адаптивных автоматизированных систем, гибко изменяющих психическую нагрузку на оператора в соответствии с его состоянием. Кроме этого диагностика функционального состояния помогает оценить эффективность обучения операторов, эффективность эргономических модернизаций оборудования и систем управления, эффективность профилактических мероприятий после длительных психических нагрузок [Машин В.А., 2007b].

На сегодняшний день накоплен значительный материал по оценке функциональных состояний человека-оператора с помощью психофизиологических критериев. При этом показатели вариабельность сердечного ритма можно отнести к наиболее перспективным. Их отличает простота использования оборудования для регистрации вариабельности сердечного ритма, разработанный математический аппарат анализа показателей, возможность длительное время непрерывно регистрировать ритм сердца без вмешательства в деятельность человека, чувствительность показателей вариабельности сердца к кратковременным изменениям в психической нагрузке.

Многочисленные исследования функциональных состояний человека при воздействии различных психических нагрузок с помощью показателей ВСР поставили перед учеными ряд методологических и методических вопросов. До сих

пор отсутствует общепринятая физиологическая интерпретация различных показателей variability сердечного ритма. Выбор отдельных показателей из многочисленного набора переменных, выражающих variability сердечного ритма, для экспериментальных задач зачастую никак не обосновывается и отражает лишь субъективные предпочтения исследователей. Накапливаются противоречия при сравнении результатов различных исследований, отражающие разнонаправленную динамику показателей variability сердечного при оценке одних и тех же феноменов.

Исследователи пришли к пониманию необходимости контроля при регистрации и анализе variability сердечного ритма таких факторов, как возраст, пол, дыхание, речь, движения, мотивация, содержание задачи. Ряд ученых отмечает важность учета гетерогенности индивидов относительно исходного уровня и динамики показателей variability сердечного при различных психических воздействиях. Другие подчеркивают эффективность использования при изучении различных психофизиологических феноменов статистический аппарат многомерного анализа.

В своих исследованиях мы стремились определить с помощью многомерного анализа наиболее информативные показатели ВСР, которые бы позволили нам выделить классы функциональных состояний, проанализировать их психофизиологические особенности и связать их с надежностью и эффективностью деятельности оператора.

Для этих целей, первоначально, мы спланировали процедуру регистрации показателей ВСР и моделирования психических нагрузок, в которой попытались проконтролировать те факторы, которые влияют на анализ ВСР. Для проведения экспериментальных исследований мы имели в своем распоряжении уникальную ситуацию – психофизиологический отбор кандидатов на должности операторов АЭС. Благодаря жестким требованиям профессионального отбора и высокой значимости его результатов на принятие кадровых решений, достигалась высокая мотивация индивидов при выполнении экспериментальных заданий. В исследовании приняли участие мужчины, из которых были сформированы экспе-

риментальные группы, статистически не различающиеся по возрасту, что позволило обеспечить нам контроль пола и возраста испытуемых. Для контроля сложности задач нами был разработан специальный компьютерный вариант теста Шульте-Горбова "Черно-красная таблица" [Машин В.А., 2007b], который позволяет моделировать психические нагрузки двух уровней: умеренной сложности и повышенной. Все кандидаты хорошо владели навыками работы на компьютере (фактор подготовки). В процессе тестовых испытаний индивиды были ограничены в движениях и речевых высказываниях. Таким образом, эти два фактора не влияли на регистрацию показателей ВСП в процессе исследований. Дополнительно отметим обоснование применения различных статистических методов для анализа данных на каждом этапе экспериментальных исследований.

Для анализа показателей ВСП нами была разработана специальная программа, в которой для расчета спектральных показателей временного ряда, требующего эквидистантности (равных промежутков времени между измеряемой переменной – R-R интервалами), используется коррекция (нормирование) границ основных частотных диапазонов спектральной мощности сердечного ритма относительно текущего значения среднего R-R интервала [Машин В.А., 2002b]. Кроме этого, мы включили в анализ показатели графа сердечного ритма. Данный метод был разработан нами [Машин В.А., 2002а; Mashin V.A., 2002] для оценки показателей нелинейной динамики сердечного ритма и представляет собой развитие математического аппарата анализа графика Пуанкаре. Нами были проанализированы связи показателей графа сердечного ритма с конвенциональными переменными ВСП (временной и частотной областей), а также с различными функциональными состояниями: норма, психическое утомление, эмоциональное возбуждение и психическое напряжение [Машин В.А., Машина М.Н., 2002а].

Особое внимание мы уделили тангенсу угла наклона линии регрессии графа сердечного ритма (b_1). Как показал наш анализ [Машин В.А., Машина М.Н., 2004; Машин В.А., 2006; Mashin V.A., 2006], данный показатель отражает как линейные (периодические колебания), так и нелинейные процессы (стохас-

тический шум) в динамике ритма сердца на коротких стационарных отрезках. Возрастание периода колебаний сердечных сокращений (характерно для активности надсегментарных структур головного мозга в регуляции сердечного ритма) отражается в росте показателя b_1 , повышение относительного уровня шума (сердечной активности вагуса – сегментарных структур головного мозга) вызывает снижение значений показателя b_1 .

Определив процедуру регистрации сердечного ритма и массив показателей, описывающий вариабельность сердечного ритма, далее методами многомерного статистического анализа были проанализированы данные референтной группы, полученные от 848 кандидатов в состоянии покоя. Мы воспользовались факторным анализом для снижения размерности пространства анализируемых признаков [Машин В.А., Машина М.Н., 2004]. Это позволило нам выделить в многообразии показателей вариабельности сердечного ритма три фактора (с суммарным накопленным вкладом в дисперсию признаков 96.37%): (1) фактор общего тонуса ВНС (доля общей дисперсии 59.3%), оцениваемый показателем SDNN [Степура О.Б. и др., 2001]; (2) фактор баланса между активностью надсегментарных и сегментарных структур головного мозга, участвующих в регуляции сердечного ритма (доля общей дисперсии 27.6%, оценивается показателем b_1 : повышение значений b_1 за счет роста периода сердечных колебаний и снижения нелинейной динамики ВСР указывает на рост активности надсегментарных структур; снижение значений b_1 за счет роста нелинейной динамики в сердечном ритме и уменьшения периода сердечных колебаний – на рост активности сегментарных структур [Машин В.А., Машина М.Н., 2004; Машин В.А., 2006; Mashin V.A., 2006]); (3) фактор баланса между активностью симпатического и парасимпатического отделов ВНС в регулировании сердечного ритма (доля общей дисперсии 9.4%, оценивается показателем M) [Coumel P. et al., 1995; Goldberger J.J., 1999; Murakawa Y. et al., 1993]. В рамках содержательной интерпретации второго фактора мы детально рассмотрели связь показателей ВСР с надсегментарными структурами головного мозга, отвечающими за регуляцию сердечного ритма.

Данная факторная структура представляет собой трехмерное пространство для описания процессов регулирования сердечного ритма, и может рассматриваться как дальнейшее развитие идей Р.М. Баевского, А.Н. Флейшмана и Н.Б. Хаспековой, а также G.G. Verntson и J.T. Casiporro. Но если модель двумерного пространства G.G. Verntson и J.T. Casiporro ограничена описанием сегментарных влияний на регуляцию сердечного ритма (парасимпатических и симпатических вегетативных центров ствола мозга и спинного мозга), то в нашей модели мы, в след за Р.М. Баевским, А.Н. Флейшманом и Н.Б. Хаспековой, учитываем также активность надсегментарных (корково-лимбических) структур головного мозга.

Создание трехфакторной модели ВСР предоставила нам возможность использования ее для построения классификации функциональных классов [Машинов В.А., Машина М.Н., 2004]. Нормированные по данным референтной группы наиболее информативные показатели трехфакторной модели ВСР ($SDNN_n$, b_{1n} и M_n) позволили нам, с привлечением данных психофизиологических и медико-физиологических обследований, описать 8 классов функциональных состояний:

1. Функциональный класс "Норма" ($SDNN_n$ 5÷9, b_{1n} 1÷4, M_n 5÷9) – высокий общий тонус ВНС, преобладание активности сегментарного уровня регулирования сердечного ритма над кортико-лимбическим (надсегментарным), преобладание вагусной сердечной активности в симпато-вагусном балансе. Функциональные состояния данного класса диагностируются в состоянии покоя, при глубоком расслаблении и во время сна, при сохранении функциональных резервов (трофотропная деятельность).

2. Функциональный класс "Норма с преобладанием симпатической активности" ($SDNN_n$ 5÷9, b_{1n} 1÷4, M_n 1÷4) – высокий общий тонус ВНС, преобладание активности сегментарного уровня регулирования сердечного ритма над кортикальным, преобладание симпатической сердечной активности в симпато-вагусном балансе. Функциональные состояния данного класса диагностируют-

ся у лиц с высоким тонусом активности в состоянии покоя, а также при экономической регуляции сердечного ритма в процессе психической нагрузки.

Заметим, что диагностика функциональных классов "Норма" и "Норма с преобладанием симпатической активности" может быть полезна при оценке эффектов различных психотерапевтических воздействий, включая сеансы психологической релаксации [Машин В.А., Машина М.Н., 2000, 2001].

3. Функциональный класс "Эмоциональное возбуждение" ($SDNN_n 5\div 9$, $b_{1n} 5\div 9$, $M_n 5\div 9$) - высокий общий тонус ВНС, преобладание активности надсегментарного уровня регулирования сердечного ритма, преобладание вагусной сердечной активности в симпато-вагусном балансе. Функциональные состояния данного класса диагностируются при эмоциональном возбуждении в ситуации ожидания выполнения ответственного задания, а также по его окончанию.

4. Функциональный класс "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" ($SDNN_n 5\div 9$, $b_{1n} 5\div 9$, $M_n 1\div 4$) - высокий общий тонус ВНС, преобладание активности надсегментарного уровня регулирования сердечного ритма, преобладание симпатической сердечной активности в симпато-вагусном балансе. Функциональные состояния данного класса диагностируются у лиц с невротической симптоматикой, когда эмоциональное возбуждение сопровождается выраженными психическими переживаниями по поводу конфликтной ситуации. Данный функциональный класс может диагностироваться и в ситуации ожидания ответственного задания, и после его выполнения.

Различные формы эмоционального возбуждения оператора в процессе выполнения профессиональных задач могут быть вызваны также его ошибочными действиями и осознанием всей серьезности их последствий, давлением времени и трудностями принятия решения в ситуациях чрезмерной психической нагрузки, когда оператор должен обработать большой объем информации за короткий период времени, а затрачиваемые психические усилия не позволяют достичь требуемого результата.

5. Функциональный класс "Психическое напряжение" ($SDNN_n 1\div 4$, $b_{1n} 5\div 9$, $M_n 1\div 4$) - сниженный общий тонус ВНС, преобладание активности надсегментарного уровня регулирования сердечного ритма, преобладание симпатической сердечной активности в симпато-вагусном балансе. Функциональные состояния данного класса типичны для психической нагрузки и отражают разные степени психического напряжения и концентрации усилий субъекта на задаче.

6. Функциональный класс "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса" ($SDNN_n 1\div 4$, $b_{1n} 5\div 9$, $M_n 5\div 9$) - сниженный общий тонус ВНС, преобладание активности надсегментарного уровня регулирования сердечного ритма, преобладание вагусной сердечной активности в симпато-вагусном балансе. Функциональные состояния данного класса диагностируются при психическом утомлении с астено-невротической симптоматикой, а также, согласно клиническим наблюдениям, могут служить индикаторами патологических процессов и вызванных ими ипохондрических мыслей (снижение функциональных резервов организма и рост невротических реакций при развитии таких тяжелых заболеваний, как, например, атеросклероз, рак).

7. Функциональный класс "Психическое напряжение с преобладанием активности сегментарных структур" ($SDNN_n 1\div 4$, $b_{1n} 1\div 4$, $M_n 1\div 4$) - сниженный общий тонус ВНС, преобладание активности сегментарного уровня регулирования сердечного ритма над кортико-лимбическим, преобладание симпатической сердечной активности в симпато-вагусном балансе. Согласно клиническим наблюдениям, данный функциональный класс может являться ранним предвестником сердечно-сосудистых нарушений (например, нарушения сердечного ритма). При выраженном снижении общего тонуса ВНС на ритмограмме регистрируется парадоксальный низкоамплитудный высокочастотный хаос.

8. Функциональный класс "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса и сегментарных структур" ($SDNN_n 1\div 4$, $b_{1n} 1\div 4$, $M_n 5\div 9$) - сниженный общий тонус ВНС, преобладание активности сегментарного уровня ре-

гулирования сердечного ритма над надсегментарным, преобладание вагусной сердечной активности в симпато-вагусном балансе. Функциональные состояния данного класса характерно для хронического психического утомления, глубокого снижения функциональных резервов.

Принципиальное отличие первых четырех функциональных классов от различных форм психического напряжения заключается в высоком общем тоне ВНС (SDNN). Характеризуя первые четыре функциональных класса, мы имеем в виду не только преобладание активности различных структур головного мозга в регуляции сердечного ритма (высокие относительные значения показателей ВСР), но и их высокую тоническую активность (высокие абсолютные значения показателей ВСР). Для различных форм психического напряжения общий тонус ВНС снижен, как и тоническая активность различных структур головного мозга (низкие абсолютные значения показателей ВСР), активность которых преобладает в регуляции сердечного ритма (высокие относительные значения показателей ВСР).

Согласно нашей классификации функциональные классы "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса" и "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса и сегментарных структур" могут рассматриваться как индикаторы процессов психического утомления. Процедура наших экспериментальных исследований не позволяла моделировать длительных психических нагрузок у операторов для изучения процессов утомления и монотонии с помощью показателей ВСР. Для подтверждения своих выводов мы проанализировали результаты различных исследований утомления и монотонии. Выполненный нами обзор высветил проблему 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 необ-

ходимого 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 (функциональный класс "Психическое напряжение"), которые могут вызвать состояние психического утомления [Машин В.А., 2007b]. Если состояния расслабления, скуки, сонливости характеризуются функциональным классом "Норма" (снижение активности, бдительности), то состояния психического утомления функциональными классами "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса" и "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса и сегментарных структур" (снижение общего тонуса ВНС с преобладанием вагусной сердечной активности). 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), что находило отражение в соответствующей динамике показателей ВСР.

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, снижения активности оператора, могут служить индикаторами низкой мотивации субъекта на решение профессиональных задач.

При разработке классификации функциональных состояний на основе трехфакторной модели ВСР мы специально обратили внимание на то, что речь идет именно о функциональных классах, а не функциональных состояниях [Машин В.А., 2007b]. В каждом функциональном классе мы имеем непрерывный континуум функциональных состояний в диапазоне, который задается минимальными и максимальными значениями нормированных показателей трех-

факторной модели ВСР. Например, функциональный класс "Норма" (диапазон $1 \div 12$) 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, преобладание активности сегментарных структур головного мозга в регуляции сердечного ритма и вагусной сердечной активности в симпато-вагусном балансе. При этом функциональные состояния в рамках одного функционального класса будут различаться значениями нормированных показателей трехфакторной модели ВСР ($SDNN_n$, b_{1n} и M_n).

Перед экспериментальным исследованием влияния психических нагрузок на функциональное состояние человека мы рассмотрели ряд методических вопросов, связанных с использованием трехфакторной модели ВСР: стационарность и длительность анализируемого временного ряда R-R интервалов [Машин В.А, 2007а; Mashin V.A., 2007]. Данные методические вопросы являются существенными при регистрации сердечного ритма в реальных условиях и при кратковременных изменениях психической нагрузки. Мы проанализировали влияние нестационарности временных рядов ритма сердца на диагностику классов функциональных состояний с помощью трехфакторной модели ВСР при различных условиях регистрации ЭКГ: в положении лежа (покой), перед выполнением ответственного задания (тест Шульте-Горбова), после выполнения теста Шульте-Горбова. Для всех трех условий нами была получена высокая устойчивость диагностирования классов функциональных состояний к действию фактора нестационарности. Дополнительно мы проанализировали влияние нестационарности временного ряда для расчета различных показателей ВСР. Был сделан вывод, что для корректного сравнения данных двух исследований, в которых анализируются очень низкочастотные характеристики и связанные с ними показатели ВСР, необходимо контролировать не только выборку обследуемых и условия регистрации ритма сердца, но и эффект нестационарности временных рядов.

Далее было проанализировано влияние длительности временного ряда (256÷16 R-R интервалов) на диагностику классов функциональных классов [Машин В.А, 2007а; Mashin V.A., 2007]. Полученные данные позволили заключить, что диагностику функциональных классов на основе трехфакторной модели ВСР можно использоваться как на стандартных по объему выборках (256 R-R интервалов), так и на более коротких выборках в диапазоне 128÷32 R-R интервала, с предварительной нормализацией факторных показателей для соответствующей длины временного ряда. Также было исследовано влияние длительности сегментов кардиоинтервалов на показатели variability сердечного ритма при диагностировании четырех основных функциональных классов: "Норма", "Эмоциональное возбуждение", "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" и "Психическое напряжение".

В экспериментальной части нашего исследования мы воспользовались разработанной нами классификацией функциональных состояний на основе трехфакторной модели ВСР, в первую очередь, для решения актуальной задачи профессионального отбора – определение психофизиологических критериев для прогнозирования эмоциональной устойчивости кандидатов на оперативные должности [Машин В.А., Машина М.Н., 2004]. В качестве независимого критерия уровня эмоциональной устойчивости кандидатов были использованы экспертные оценки. Эмоциональный компонент психической нагрузки моделировался тестом Шульте-Горбова: регистрация показателей ВСР выполнялась в процессе выполнения наиболее сложного третьего задания. В анализе использовался также суммарный показатель эффективности выполнения методики по всем трем заданиям. С помощью "обучающей" выборки были выделены психофизиологические критерии по каждому функциональному классу для прогнозирования устойчивости к эмоциональным нагрузкам. На заключительной стадии алгоритм диагностики уровня эмоциональной устойчивости, с учетом функциональных классов и выделенных психофизиологических критериев, был использован для проверки на "контрольной" выборке кандидатов. Показатель чувствительности (Se) использованного алгоритма для диагностики низкого

уровня устойчивости к эмоциональным нагрузкам составил 92%, а специфичности (Sp) – 93%, прогностичность положительного результата $PVP = 81\%$, прогностичность отрицательного результата $PVN = 97\%$. Выполненный статистический анализ позволил сделать вывод о высокой статистически значимой связи между оценками экспертов и данными психофизиологической диагностики эмоциональной устойчивости кандидатов на оперативные должности.

Разработанный алгоритм диагностики эмоциональной устойчивости кандидатов на оперативные должности был использован нами в создании системы профессионального отбора персонала АЭС [Машин В.А., Машина М.Н., 2005] и апробирован при отборе персонала как для отечественных АЭС (концерн "Росэнергоатом"), так и зарубежных АЭС: "Тяньвань" (Китай), "Куданкулам" (Индия) и "Бушер" (Иран). Данная процедура легла в основу разработанных в 2006 году для ОАО АК Транснефть "Общих требований к психофизиологической оценке оперативного, диспетчерского и оперативно-ремонтного персонала".

В главе 1.3 мы дали развернутое описание исследований, в которых показатели ВСП использовались для анализа различных видов психических нагрузок. Неоспоримым можно считать интерес исследователей к показателям ВСП как индикаторам психической нагрузки при выполнении индивидуумами моделируемых или реальных задач. В тоже время нельзя обойти стороной и те противоречия в результатах исследований функциональных состояний при воздействии психических нагрузок, на которых мы останавливались в главе 1.4. В следующем экспериментальном исследовании мы попытались с помощью трехфакторной модели ВСП проанализировать индивидуальную динамику показателей ВСП при воздействии различных уровней психической нагрузки и роль гетерогенности при объяснении противоречивости данных о влиянии рабочей нагрузки на показатели ВСП. Дополнительно мы собирались оценить чувствительность отдельных показателей ВСП к воздействию различных уровней психической нагрузки с учетом нашей классификации функциональных состояний [Машин В.А., 2007b].

С помощью методики Шульте-Горбова моделировались два уровня психической нагрузки: умеренный (первые два задания) и высокий (третье задание). Кроме этого сердечный ритм регистрировался в исходном состоянии – до выполнения тестовых заданий. При оценке согласия между частотой диагностируемых функциональных классов при различных уровнях психической нагрузки были получены статистически значимые различия всех трех заданий с исходным уровнем, а также первых двух заданий (умеренный уровень психической нагрузки) с третьим (высокий уровень психической нагрузки). Частота диагностируемых функциональных классов при выполнении первых двух заданий статистически не различалась.

Исходное состояние (перед началом выполнения тестовой методики) характеризовалось значительной частотой диагностирования функциональных классов "Эмоциональное возбуждение", "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" и "Психическое напряжение". Преобладание различных форм эмоционального возбуждения в исходном состоянии объясняется тревожно-эмоциональными реакциями в ситуации ожидания выполнения ответственных заданий. Неожиданно высокой оказалась частота диагностирования функционального класса "Психическое напряжение" в исходном состоянии. С началом выполнения первого задания (умеренная психическая нагрузка) наблюдается снижение частоты диагностирования классов функциональных состояний, связанных с эмоциональным возбуждением и рост классов функциональных состояний, связанных с психическим напряжением. Такая же картина сохраняется и при выполнении второго задания. При этом можно отметить во втором задании небольшой тренд в сторону повышения частоты диагностирования класса функциональных состояний "Норма" за счет снижения частоты диагностирования классов функциональных состояний, связанных с эмоциональным возбуждением – эффект психической адаптации к новым условиям. Переход к выполнению третьего задания, с высоким уровнем психической нагрузки, привел к статистически значимому снижению частоты диагностирования функционального класса "Норма", возрастанию частоты ди-

агностирования функциональных классов, связанных с эмоциональным возбуждением, при сохранении частоты диагностирования функциональных классов, отражающих психическое напряжение. Рост частоты диагностирования функциональных классов, связанных с эмоциональным возбуждением, отражает тревожно-эмоциональные реакции на возросшую сложность задачи и вероятность совершения ошибок, на возросшее число допущенных при выполнении ошибок, на необходимость выполнения дополнительных попыток (конфликт с установкой на достижение положительного результата). Именно с этим заданием так и не смогли справиться 7 кандидатов, затратив на его выполнение все три отведенные попытки.

Кроме общей динамики функциональных классов при воздействии различной психической нагрузки была отмечена пестрая динамика диагностированных функциональных классов на уровне отдельных обследуемых. Например, различные формы эмоционального возбуждения в исходном уровне могут сменяться психическим напряжением при выполнении первого задания, нормализацией состояния при выполнении второго задания и вновь эмоциональным возбуждением в третьем задании. Для некоторых было характерно устойчивое психическое напряжение или эмоциональное возбуждение при выполнении всех трех заданий. В целом, при переходе от исходного уровня к умеренной психической нагрузке (выполнение первого задания) наблюдались наиболее выраженные изменения: у 55.95% обследуемых было отмечено изменение функциональных классов согласно трехфакторной модели ВСП.

Значительное число исследований воздействий психических нагрузок на функциональное состояние человека посвящено чувствительности показателей ВСП к отдельным уровням психической нагрузки. Разнонаправленная динамика диагностированных функциональных классов при различных уровнях психической нагрузки не позволяла нам воспользоваться сравнением значений показателей ВСП по всем обследуемым, поскольку это могло привести лишь к оценке "средней температуры по больнице". Для оценки чувствительности отдельных показателей ВСП к различным уровням психической нагрузки были сформиро-

ваны две группы. В первую вошли обследуемые, у которых при выполнении всех трех заданий методики Шульте-Горбова диагностировались функциональные состояния, связанные с эмоциональным возбуждением ("Эмоциональное возбуждение" и "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности"). Вторую составили обследуемые, которые устойчиво характеризовались функциональным классом "Психическое напряжение" при выполнении всех трех заданий. В ходе анализа результатов для каждой группы были выделены показатели ВСР, обладающие дифференциальной чувствительностью (различают различные уровни психической нагрузки) и абсолютной чувствительностью (различают лишь исходное состояние и психическую нагрузку).

Высокая частота диагностирования функционального класса "Психическое напряжение" на стадии ожидания выполнения ответственного задания заставила нас обратить более пристальное внимание на динамику тревожных состояний при воздействии эмоциональных нагрузок. Поэтому заключительная часть экспериментальных исследований классификации функциональных состояний на основе трехфакторной модели ВСР была посвящена изучению состояний тревожности у операторов [Машин В.А., 2007с]. Нас интересовала динамика показателей variability сердечного ритма и диагностированных с помощью факторной модели функциональных состояний на стадиях антиципации (предвосхищения выполнения теста) и восстановления после теста Шульте-Горбова. Поскольку сама ситуация профессионального отбора не могла не влиять на состояние обследуемых, предварительно (исходная стадия исследования) были отобраны кандидаты, у которых до начала проведения тестовых испытаний по данным трехфакторной модели ВСР диагностировались функциональные состояния класса "Норма". Как и ожидалось, наибольшее число классов функциональных состояний на стадиях антиципации и восстановления составили различные формы эмоционального возбуждения (соответственно, 75.0% и 78.12%). Согласно статистическому анализу, отсутствовали различия в частоте диагностирования функциональных классов на стадиях антиципации и восстановления. Дополнительно мы проанализировали различия показателей ВСР

между функциональными классами. Нами было продемонстрировано, насколько значимо могут отличаться индивидуальные значения показателей ВСП в тревожных ситуациях даже при наличии единых исходных функциональных состояний. Такая гетерогенность индивидуальной динамики показателей ВСП может служить объяснением тех противоречий, которые содержат результаты исследований тревожных состояний.

Функциональный класс "Психическое напряжение" также диагностировался нами при моделировании тревожных состояний, хотя частота диагностирования в этом случае была значимо ниже, чем в предыдущих исследованиях. Какую же роль играет этот функциональный класс в ситуации ожидания ответственного задания? При эмоциональном возбуждении рост активности надсегментарных структур головного мозга в регулировании сердечного ритма (показателя b_1) сопровождается сохранением повышенного общего тонуса ВНС (SDNN), а при психическом напряжении – снижением общего тонуса ВНС. В первом случае высокий тонус активности центральной нервной системы обеспечивает гибкую мобилизацию нервных ресурсов организма и быструю подстройку его функциональных систем для решения возникшей проблемы (мобилизационная фаза эрготропной деятельности). При психическом напряжении мы имеем дело с состояниями, когда нервные ресурсы организма уже мобилизованы, и функциональные системы организма оптимизированы для выполнения текущей задачи: общий вегетативный тонус снижен и все основные ресурсы ЦНС направлены на обеспечение когнитивных функций (исполнительная фаза эрготропной деятельности).

В монографии [Berntson G.G., Cacioppo J.T., 2002] 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 ВСП не подтверждает эту гипотезу. Преобладание активности сегментарных структур головного мозга в управлении

сердечным ритмом (низкие значения показателя b_1) характеризуется, согласно нашей классификации, например, функциональным классом "Норма" 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", "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" и "Психическое напряжение". Все три функциональные классы характеризуются преобладанием активности надсегментарных (корково-лимбических) 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" [Машин В.А., 2007b]. 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 ВСР при исследовании тревожных состояний дает исследователям возможность для дифференцированной диагностики состояний эмоционального возбуждения и психического напряжения, с последующим анализом их психофизиологического содержания.

Исследуя динамику функциональных состояний на стадии антиципации мы не могли не обратить внимание на преобладание различных форм эмоционального возбуждения ("Эмоциональное возбуждение" и "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности") и на стадии восстановления. Наши результаты совпали с исследованиями, в которых изучались пост-

стрессовые размышления, переживания (руминация). Результаты этих исследований служат доказательством тому, что тревожные состояния могут продуцироваться кортикально-когнитивными процессами не только в ситуации ожидания стрессовых заданий, но и после их выполнения. Именно этим можно объяснить значительный рост различных форм эмоционального возбуждения на стадии восстановления после выполнения теста.

Дополнительно мы исследовали связь шкал теста ММРІ, отражающих различные формы тревожности, с функциональными классами, диагностированными на стадиях до и после выполнения тестовых заданий. На этих стадиях эксперимента повышение по шкалам ММРІ соответствовало, главным образом, различным формам эмоционального возбуждения. Для первой стадии: "Эмоциональное возбуждение" - 78.57%, "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" - 14.29%, для второй стадии, соответственно, 64.29% и 21.43%. Анализируя полученные результаты, мы сделали вывод, что данные ММРІ хорошо согласуются с трехфакторной моделью ВСР на стадиях антиципации (размышлений и переживаний перед выполнением ответственных тестовых заданий) и восстановления (размышлений и переживаний после выполнения ответственных тестовых заданий).

Проведенная нами серия экспериментальных исследований подтвердила высокую гетерогенность индивидуальных показателей ВСР и диагностированных с помощью трехфакторной модели ВСР функциональных классов, как в исходном состоянии, так и при различных уровнях психической нагрузки и тревожных состояний. Такая гетерогенность может являться существенным источником расхождения результатов экспериментальных исследований как при моделировании психических нагрузок, так и тревожных состояний. Разработанная на основе трехфакторной модели ВСР классификация функциональных состояний может служить ценным инструментом для контроля и учета гетерогенности индивидов. Она может быть полезна при управлении психическими нагрузками в реальных условиях деятельности оператора, позволяя отслеживать такие негативные состояния как психическое перенапряжение и эмоцио-

нальное перевозбуждение, монотония и психическое утомление. Предложенная классификация позволяет выделить психофизиологические критерии для прогнозирования устойчивости кандидатов на оперативные должности к эмоциональным компонентам психической нагрузки, описать физиологические критерии для дифференциальной диагностики снижения активности и бдительности при монотонии и функциональных резервов при психическом утомлении. Она предоставляет исследователям возможность приблизиться к психофизиологическим основаниям для различения функциональных состояний тревоги и страха. Мы полагаем, что классификация функциональных состояний на основе трехфакторной модели ВСП будет полезна при диагностике различных психических расстройств и оценке эффективности терапевтических воздействий.