

ГЛАВА 4.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

4.1. ОЦЕНКА ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КАНДИДАТОВ НА ОПЕРАТИВНЫЕ ДОЛЖНОСТИ

Основное содержание деятельности операторов заключается в возросшей роли интеллектуальных и эмоционально-волевых процессов [Зинченко В.П. и др., 1964; Ломов Б.Ф., 1966]. Высокая ответственность, связанная с материальными ценностями и жизнями людей, понимание возможных моральных и экономических последствий своих ошибочных действий, дефицит времени, большой объем разнородной информации являются сильными эмоциогенными факторами, создающими дополнительную психическую нагрузку на оператора в аварийных ситуациях [Зильберман П.Б., 1974; Анохин А.Н. и др., 1996; Анохин А.Н. и др., 2000]. В этих условиях особое значение приобретает эмоциональная устойчивость оператора, его способность надежно действовать в нештатных, критических ситуациях¹⁹.

Большинство отечественных авторов определяют эмоциональную устойчивость как свойство личности, которое характеризуется взаимодействием эмоциональных, волевых, интеллектуальных и мотивационных компонентов психической деятельности индивида, обеспечивающим достижение цели деятельности в сложной обстановке [Аболин Л.М., 1989; Дьяченко М.И., Пономаренко В.А., 1990; Зильберман П.Б., 1974; Писаренко В.М., 1986; Платонов К.К., 1960; Платонов К.К., 1970; Марищук В.Л., 1982; Милерян Е.А., 1966; Чебыкин А.Я., Аболин Л.М., 1984]. Для В.А. Плахтиенко и Ю.М. Блудова [1983] эмоциональная устойчивость – это свойство темперамента (сила нервной системы, под-

¹⁹ Под надежностью мы понимаем способность оператора безошибочно, точно и своевременно выполнять возложенные на него функции в течение требуемого времени и в определенных условиях деятельности [Никифоров Г.С., 1996].

вижность и лабильность нервных процессов), которое позволяет надежно выполнять поставленную задачу за счет оптимального использования резервов нервно-психической эмоциональной энергии. О.А. Черникова [1967] понимает под эмоциональной устойчивостью относительную стабильность оптимального уровня интенсивности и направленности на решение задачи эмоциональных реакций человека.

Общепринято считать, что эмоциональная устойчивость является одним из важных факторов надежности и эффективности действий оператора в условиях воздействия эмоционального компонента психической нагрузки [Бушов Ю.В., 1992; Данилова Н.Н., 1998; Дьяченко М.И., Пономаренко В.А., 1990]. Проведены многочисленные исследования эмоциональной устойчивости у спортсменов [Аболин Л.М., 1974; Аболин Л.М., 1987; Писаренко В.М., 1964; Писаренко В.М., 1986; Плахтиенко В.А., Блудов Ю.М., 1983; Черникова О.А., 1967]. При этом число экспериментальных исследований, посвященных эмоциональной устойчивости операторов, крайне ограничено [Генес В.С., Мадиевский Ю.М., 1974; Горбов Ф.Д. и др., 1971; Милерян Е.А., 1974а, 1974б; Суворова В.В., 1975]. Например, в эксперименте [Хватова М.В. и др., 2002] эмоциональная устойчивость (стрессоустойчивость) оценивалась по результатам выполнения проб по Крепелину в условиях дефицита времени и внешних помех (шум, негативные замечания экспериментатора), а также с помощью анкетирования. Дополнительно авторы проанализировали показатели ВСР в исходном состоянии. Оказалось, что участницы с $LF/HF > 1.0$ (согласно авторам, это свидетельствует о преобладании симпатической сердечной активности в исходном состоянии) характеризовались более низкой стрессоустойчивостью и были более чувствительны к помехам при выполнении тестовых проб, чем участницы с $LF/HF < 1.0$ (преобладание парасимпатической сердечной активности в исходном состоянии, согласно авторам).

Приведем еще один редкий пример использования показателей ВСР для анализа эмоциональной устойчивости. В исследовании эмоциональной устойчивости [Liu X.F. et al., 2004] приняли участие курсанты летного военного учи-

лица. Регистрация сердечного ритма выполнялась во время теста Стернберга (двойная задача на память и поиск информации) и тренажерных полетов. Кроме этого старшие пилоты заполнили шкалу эмоциональной устойчивости для каждого курсанта (CASESFC). Согласно полученным результатам, во время выполнения теста Стернберга курсанты с высокой оценкой эмоциональной устойчивости имели значимо более низкие значения LF_{nu} и HF_{nu} , LF/HF и ЧСС, чем курсанты с низкой оценкой эмоциональной устойчивости. При выполнении полетов на тренажере курсанты с высокой оценкой эмоциональной устойчивости имели значимо более высокие значения LF_{nu} и HF_{nu} , но показатели LF/HF и ЧСС были по-прежнему ниже, чем у курсантов с низкой оценкой эмоциональной устойчивости. Авторы сделали вывод, что эмоциональная устойчивость зависит не только от личностных особенностей индивида, его темперамента и когнитивных способностей, но также от его физиологических свойств.

Значительное число исследований было посвящено динамике ВСР при воздействии различных эмоциональных компонентов психической нагрузки [Hall M. et al., 2004; Idzikowski C., Baddeley A.D., 1983; Papousek I. et al., 2002]. Например, в исследовании [Jang D.P. et al., 2002] были проанализированы физиологические реакции на два виртуальных окружения: вождение и полет. Авторы обнаружили, что показатели ВСР могут быть использованы для демонстрации эмоционального возбуждения участников в ситуации переживания виртуального окружения и для оценки эмоциональных состояний в этих условиях. Исследования с новорожденными, детьми младшего возраста и взрослыми обнаружили снижение ДСА в течение негативных эмоциональных событий [Beauchaine T.P., 2001; Friedman B.H., Thayer J.F., 1998a; Friedman B.H., Thayer J.F., 1998b; Gottman J.M. et al., 1995; Thayer J.F. et al., 1996]. Однако отношения между ДСА и положительными эмоциями являются менее однозначными. У новорожденных положительный аффект связан с повышением ДСА [Bazhenova O.V., Porges S.W., 1997], у дошкольников со снижением ДСА [Calkins S.D., 1997; Cole P.M. et al. 1996; Miller B.D., Wood B.L., 1997]. У взрослых ряд исследователей [Dishman R.K. et al., 2000; Nyklicek I. et al. 1997; Ritz T. et al. 2002]

обнаружили снижение в ДСА во время положительных и негативных аффективных ощущений, но [Kettunen J. et al., 2000; McCraty R. et al. 1995] установили повышение ДСА во время задач, вызывавших положительный аффект. Ряд исследований были посвящены попытке классифицировать различные эмоциональные состояния с помощью показателей ВСП [Catipovic-Veselica K. et al., 1999; Christie I.C., 2002; Jonsson P., Sonnby-Borgstrom M., 2003; Kim K.H. et al., 2004], также ученых интересовала взаимосвязь уровня ДСА с поведенческими реакциями на различные эмоциональные стимулы и ситуации [Calkins S.D., Fox N.A., 1992; Demaree H.A. et al., 2004; Eisenberg N. et al., 1996; Fabes R.A. et al., 1993; Fox N.A., 1989; Frazier T.W. et al., 2004; Mezzacappa E. et al., 1996; Porter F.L. et al. 1988; Stifter C.A., Fox N.A., 1990; Stifter C.A., Jain A., 1996]. В исследовании [De Meersman R.E. et al., 1996] анализировались социально-психологические факторы, и было установлено значимое снижение вагусной сердечной активности у обследуемых в процессе презентации с участием зрителей, в сравнении с презентацией без зрителей (запись на видеокамеру). В исследовании [Rani P. et al., 2006] различные физиологические показатели (включая ЧСС, SDNN, мощность спектра в LF и HF диапазонах, электромиограмму, КГР и температуру тела) использовались для поддержания оптимального уровня сложности выполнения компьютерной игры (Pong game) через контроль уровня тревожности участников. В эксперименте [Rissén D., 2006] моделировалась психическая нагрузка на кратковременную память. Обследуемые выполнили две сессии: (1) нейтральную (без внешнего вмешательства) и (2) эмоциональную (с негативным воздействием экспериментатора). Автор обнаружил значимо более низкие значения HF показателя во второй сессии. При этом LF показатель не различался. К сожалению, во всех перечисленных экспериментах авторы концентрировали внимание, главным образом, на динамике высокочастотных составляющих колебаний сердечного ритма (ДСА, HF), оставляя за скобками очень низкочастотные компоненты ВСП (VLF).

В исследовании О.В. Коркушко и соавторов [1994] были проанализированы изменения ВСП при моделировании эмоционального компонента психи-

ческих нагрузок (арифметический счет в условиях дефицита времени и компьютерное задание выбора) у здоровых людей молодого и пожилого возраста. Было установлено, что различные психические нагрузки (авторы отнесли их к стрессовым) вызывают у молодых и пожилых людей снижение мощности LF и HF компонентов ВСР. Данная динамика наиболее выражена в пожилом возрасте. На этом фоне в пожилом возрасте отмечается преобладание мощности в VLF диапазоне, что свидетельствует, по мнению авторов, о более существенном снижении парасимпатических и барорефлекторных влияний на сердечно-сосудистую систему и повышении центральной регуляции (активности надсегментарных структур головного мозга).

Разработка эффективных методов оценки эмоциональной устойчивости является одной из важнейших задач отбора кандидатов на оперативные должности [Милерян Е.А., 1974b]. Для ее решения мы воспользовались разработанной нами трехфакторной моделью ВСР и созданной на ее основе классификацией функциональных состояний [Машин В.А., Машина М.Н., 2004].

В качестве независимого критерия эмоциональной устойчивости кандидатов на оперативные должности были использованы экспертные оценки. В состав экспертов вошли психологи и инструктора НВУТЦ, представители АЭС. Анализировались действия и поведение кандидатов в критических ситуациях: профессиональный отбор (обследования), экзамены, противоаварийные тренировки, аварийные ситуации в реальной деятельности (опыт самостоятельной работы). В приложении 12 приведена "Шкала оценки эмоциональной устойчивости операторов при действиях в аварийных ситуациях", которую заполняли инструктора и психологи по результатам работы операторов на тренажере. Подобные шкалы заполнялись на операторов их руководителями и коллегами по результатам действий в реальных условиях. Уровень устойчивости к эмоциональным нагрузкам (SS – Stress Stability) оценивался по 4-х бальной шкале: 4 - высокий уровень, 3 - средний, 2 - низкий, 1 - очень низкий. Этот показатель являлся одним из важнейших при рекомендации кандидата к оперативной деятельности (при SS ниже 3 баллов кандидат не рекомендовался к опе-

ративной работе). Согласованность мнений экспертов оценивалась с помощью коэффициента конкордации Кендалла [Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г., 1974]. Были отобраны 249 кандидатов (средний возраст = 32.12 лет, SD = 7.43 лет), по которым имелись согласованные оценки эмоциональной устойчивости по всем экспертам. Все кандидаты имели высокую мотивацию на успешное прохождение процедуры обследования. Сердечный ритм регистрировался в процессе выполнения третьего задания методики Шульте-Горбова. Сложность данного задания, высокая вероятность совершения ошибки, нацеленность кандидатов на положительный результат, очень значимый для них, позволяли моделировать с помощью этого задания высокий уровень эмоционального компонента психической нагрузки. Рассчитывались следующие показатели ВСР: М (средний R-R интервал), SDNN (среднее квадратическое отклонение R-R интервалов), b_1 (тангенс угла наклона линии регрессии графа сердечного ритма), нормированный показатель VLF_{nu} ($VLF_{nu} = 100 \times VLF / TP$). В анализе использовались средние значения показателей ВСР по каждому обследуемому, а также суммарный показатель (sT) эффективности выполнения методики по всем трем заданиям: $sT = \Sigma(T_i + 10 \times NC_i + 20 \times NS_i)$, где T - время выполнения задания в сек., NC - количество ошибок на цвет, NS - количество ошибок на последовательность, i - номер задания. Процедура классификации функциональных состояний на основе трехфакторной модели ВСР описана в главе 3.2. Нормирование показателей факторной структуры выполнялось по данным референтной группы (848 здоровых мужчины, средний возраст = 29.73 лет, SD = 6.43 лет). На стадии определения алгоритма диагностики уровня эмоциональной устойчивости использовались данные по 93 кандидатам на оперативные должности ("обучающая" выборка). Заметим, что "обучающая" и "контрольная" выборка (156 человек) не различались по возрасту.

По результатам анализа ВСР функциональный класс "Норма" (ФК1) был диагностирован в ходе выполнения третьего задания Шульте-Горбова у двух кандидатов, которые имели высокие экспертные оценки устойчивости к эмоциональным нагрузкам (SS 3 ÷ 4). Само задание и ситуация обследования не

вызвали у них затруднений, они легко справились с тестовой методикой (заметьте, что у данных кандидатов не диагностировалось состояние глубокого расслабления или нарушения сердечного ритма). Близкая картина была зафиксирована и для функционального класса "Норма с преобладанием симпатической активности" (ФК2). Это состояние диагностировалось у 4 обследуемых, для которых были получены высокие оценки показателя SS. Успешное выполнение методики сочеталось у этих кандидатов с экономичной регуляцией сердечного ритма. Полученные результаты позволили сделать вывод, что диагностика первых двух функциональных классов в ситуации выполнения сложной и ответственной задачи (и при наличии положительной мотивации) предполагает высокий уровень эмоциональной устойчивости кандидатов, при котором действия в подобных условиях характеризуются продуктивностью (высокой скоростью) и надежностью (безошибочностью).

К функциональному классу "Эмоциональное возбуждение" (ФК3) было отнесено 8 человек: 5 с высокими показателями SS, и 3 – с низкими. Дополнительный анализ показал, что для кандидатов с низкими показателями устойчивости к эмоциональным компонентам психической нагрузки (SS 1÷2) характерно выраженное эмоциональное возбуждение (показатель общей вариабельности сердечного ритма SDNN > 61 мс) и выраженное снижение продуктивности выполнения деятельности (sT > 700). Таким образом, чем выше реакция эмоционального возбуждения в процессе воздействия эмоционального компонента психической нагрузки, тем выше негативное воздействие психофизиологических процессов на выполнение деятельности и тем сложнее кандидату компенсировать эмоциональное возбуждение уровнем развития психических процессов [Машин В.А. и др., 1997]. (Можно провести параллель между данной зависимостью и законом Йеркса-Додсона, который установил связь продуктивности выполняемой деятельности с уровнем активации, возбуждения нервной системы). Полученные данные совпадают с результатами рассмотренных в главе 3.2 исследований, в которых было установлено, что когда сложность психической задачи превышала возможности испытуемых, когда эмоциональная ситуация

провоцировала испытуемых на совершение ошибок, эффективность выполнения снижалась и возрастала вариабельность сердечного ритма [Aashman J. et al., 1987; Brinkman W.P. et al., 2004; Richter P. et al., 1998; Rowe D.W. et al., 1998]. Когда оператор попадает в затруднительную ситуацию, эмоциональное возбуждение призвано способствовать мобилизации ресурсов организма для поиска оптимальных решений и преодолению возникших проблем [Каплан А.Я., 2003; Симонов П.В., Фролов М.В., 1988; Damasio A.R., 1994]. Но уровень этого эмоционального возбуждения может быть настолько высоким, что психические процессы внимания (способность к концентрации внимания), мышления, восприятия будут нарушены и результатом действий оператора будут неверные решения и действия. Для дифференциальной диагностики кандидатов по уровню устойчивости к эмоциональным компонентам психической нагрузки (при функциональном классе "Эмоциональное возбуждение") в алгоритм были отобраны следующие пороговые значения психофизиологических показателей: $SDNN = 61$ мс и $sT = 700$.

Функциональный класс "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" (ФК4) был диагностирован у 32 кандидатов: 18 с высокими показателями SS, и 14 – с низкими. Для кандидатов с низкими показателями эмоциональной устойчивости было характерно выраженное эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности: высокая общая вариабельность ритма сердца ($SDNN > 54$ мс) и высокая активность надсегментарных структур в регуляции сердечного ритма ($b_1 \geq 0.92$ или $VLF_{nu} > 60\%$). Также было зафиксировано выраженное снижение продуктивности выполнения деятельности ($sT > 700$). Существенное отличие этой группы от предыдущей – рост невротической симптоматики у лиц с низкой устойчивостью к эмоциональным нагрузкам, которая негативно влияла на продуктивность и надежность деятельности. Рост активности надсегментарных структур может указывать на увеличение удельного веса эмоционального компонента над когнитивным при психической напряженности, что характеризуется интенсивными эмоциональными переживаниями в ходе деятельности, оценочным, эмоцио-

нальным отношением человека к условиям ее протекания [Наенко Н.И., 1976]. Для дифференциальной диагностики кандидатов по уровню устойчивости к эмоциональным компонентам психической нагрузки (при функциональном классе "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности") в алгоритм были отобраны пороговые значения психофизиологических показателей: $SDNN = 54$ мс, $b_1 = 0.92$ (или $VLF_{nu} = 60\%$) и $sT = 700$.

Максимальное число кандидатов при выполнении третьего задания методики Шульте-Горбова было отнесено к функциональному классу "Психическое напряжение" (ФК5) - 37: из них 29 имели высокие показатели SS и 8 – низкие. Для последних было характерно выраженное психическое напряжение ($SDNN \leq 14$ мс), высокая активность надсегментарных структур ($b_1 \geq 0.92$ или $VLF_{nu} > 60\%$), что может указывать на скрытую невротическую симптоматику, а также выраженное снижение продуктивности выполнения деятельности ($sT > 700$). Как и в случае с эмоциональным возбуждением, чрезмерное психическое напряжение ухудшало продуктивность и надежность действий, отрицательно влияя на психические процессы ("сужение" внимания и ухудшение его переключаемости), что согласуется с результатами исследований [De Waard D., 1996; Meister D., 1976; O'Donnell R.D., Eggemeier F.T., 1986]. Для дифференциальной диагностики кандидатов по уровню устойчивости к эмоциональным компонентам психической нагрузки (при функциональном классе "Психическое напряжение") в алгоритм были отобраны пороговые значения психофизиологических показателей: $SDNN = 14$ мс, $b_1 = 0.92$ (или $VLF_{nu} = 60\%$) и $sT = 700$.

Лишь у одного кандидата в процессе выполнения третьего задания теста Шульте-Горбова диагностировался шестой функциональный класс "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса" (высокая вероятность снижения функциональных резервов и развитие состояния утомления). Он был отнесен экспертами к группе с высокой устойчивостью к эмоциональным нагрузкам. Кандидат справился со всеми тестовыми методиками, но ему была рекомендована профилактика психического утомления (снижения функциональных резервов). Для дифференциальной диагностики кандидатов по уровню ус-

тойчивости к эмоциональным компонентам психической нагрузки (при функциональном классе "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса") в алгоритм были отобраны пороговые значения психофизиологических показателей: $SDNN = 14$ мс, $b_1 = 0.92$ (или $VLF_{nu} = 60\%$) и $sT = 700$ (выраженное психическое напряжение и низкая продуктивность деятельности).

К функциональному классу "Психическое напряжение с преобладанием активности сегментарных структур" (ФК7) было отнесено 9 человек: 8 имели высокие показатели SS (для них было характерно сохранение влияния вагуса на регуляцию сердечного ритма) и лишь 1 – низкие. У последнего диагностировался низкоамплитудный хаос ($b_1 \leq 0.30$, вероятность сердечно-сосудистых нарушений) на фоне выраженного психического напряжения и низкой продуктивности выполнения деятельности ($sT > 700$). Медицинские электрокардиографические исследования установили клинические признаки нарушений в работе сердца. Для дифференциальной диагностики кандидатов по уровню устойчивости к эмоциональным компонентам психической нагрузки (при функциональном классе "Психическое напряжение с преобладанием активности сегментарных структур") в алгоритм были отобраны пороговые значения показателей: $SDNN = 14$ мс, $b_1 = 0.30$ и $sT = 700$ (выраженное психическое напряжение и низкая продуктивность деятельности).

Восьмой функциональный класс "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса и сегментарных структур" (высокая вероятность снижения функциональных резервов и развитие состояния хронического психического утомления) не регистрировался в ситуации эмоциональной нагрузки (как в "обучающей" выборке, так и далее в "контрольной").

Таким образом, анализ данных по "обучающей" выборке кандидатов на оперативные должности позволил выделить психофизиологические критерии для дифференциальной диагностики эмоциональной устойчивости с учетом классов функционального состояния:

(ФК3) "Эмоциональное возбуждение": $SDNN = 61$ мс и $sT = 700$;

(ФК4) "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности": $SDNN = 54$ мс, $b_1 = 0.92$ (или $VLF_{nu} = 60\%$) и $sT = 700$;

(ФК5) "Психическое напряжение": $SDNN = 14$ мс, $b_1 = 0.92$ (или $VLF_{nu} = 60\%$) и $sT = 700$;

(ФК6) "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса": $SDNN = 14$ мс, $b_1 = 0.92$ (или $VLF_{nu} = 60\%$) и $sT = 700$;

(ФК7) "Психическое напряжение с преобладанием активности сегментарных структур": $SDNN = 14$ мс, $b_1 = 0.30$ и $sT = 700$.

Важно подчеркнуть, что речь идет именно о психофизиологических критериях эмоциональной устойчивости, которые помогают психологу понять, с чем связаны трудности выполнения кандидатом ответственных и сложных заданий: лежат ли они в плоскости развития высших психических функций (мышления, внимания, памяти, восприятия) или в плоскости эмоциональной сферы (физиологические процессы), или затрагивают его личностные особенности (мотивация).

На заключительной стадии алгоритм диагностики уровня эмоциональной устойчивости, с учетом функциональных классов и выделенных психофизиологических критериев, был использован для проверки на "контрольной" выборке кандидатов (156 человек). С помощью нормированных показателей трехфакторной модели ВСП кандидаты были отнесены к следующим функциональным классам: "Норма" – 8 (ФК1), "Норма с преобладанием симпатической активности" – 8 (ФК2), "Эмоциональное возбуждение" – 7 (ФК3), "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" – 33 (ФК4), "Психическое напряжение" – 85 (ФК5), "Психическое напряжение с преобладанием активности вагуса" – 1 (ФК6) и "Психическое напряжение с преобладанием активности сегментарных структур" - 14 человек (ФК7). С использованием выделенных психофизиологических критериев каждый кандидат был отнесен либо к группе с высокими показателями, либо к группе с низкими показателями эмоциональной устойчивости (SS). Была проанализирована чувствительность, специфичность и прогностичность диагностической процедуры [Власов В.В.,

1988]. Показатель чувствительности (Se) использованного алгоритма для диагностики низкого уровня SS составил 92%, а специфичности (Sp) – 93%, прогностичность положительного результата PVP = 81%, прогностичность отрицательного результата PVN = 97%. Коэффициент Пирсона для двух сопряженных категориальных переменных ($\chi^2 = 104.06$, $p < 0.0001$) и коэффициент максимального правдоподобия ($\chi^2 = 102.27$, $p < 0.0001$) позволили сделать вывод о высокой статистически значимой связи между оценками экспертов и данными психофизиологической диагностики эмоциональной устойчивости кандидатов на оперативные должности.

Описанный 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]. Используя модель ошибочных действий, предложенную известным английским исследователем проблем человеческого фактора J.T. Reason, систему безопасности АЭС можно представить в виде набора "барьеров", препятствующих возникновению нарушений [1990, 1997]. При этом скрытые (латентные) недостатки в элементах системы безопасности могут образовывать взаимосвязанные цепи событий и таким образом вызывать аварийные ситуации (см. Приложение 13). К одному из таких "барьеров" J.T. Reason отнес психологические факторы, латентные недостатки которых могут породить небезопасные действия человека. Профессиональный отбор при приеме кандидатов на АЭС и периодические психофизиологические обследования персонала АЭС обеспечивают контроль психологических (и психофизиологических) факторов, которые могут ослабить или нарушить один из "барьеров" безопасности АЭС и породить, либо способствовать возникновению нарушений или аварийных ситуаций. Разработанная нами процедура психологического и психофизиологического профессионального отбора персонала АЭС на основе оценки эмоциональной устойчивости кандидатов на оперативные должности была апробирована 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 Приложении 14 приведен алгоритм принятия кадрового решения на основании данных психофизиологического отбора кандидатов на оперативные должности АЭС, включая оценку эмоциональной устойчивости).

4.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПСИХИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Современный уровень развития сложных промышленных систем требует контроля не только состояния автоматики, оборудования и технологического процесса, но и функционального состояния операторов для обеспечения надежности и эффективности систем управления [Alexandersson E., 2003; Hobbs A., Williamson A., 2003; Isaac A. et al, 2003; Kumar U., Malik H., 2003; Leveson N., 2004]. Мы уже упоминали о принципах разработки адаптивной автоматики, направленной на динамическое распределение задач между человеком-оператором и автоматизированной системой в зависимости от уровня психической нагрузки [Kramer A.F., 1991; Prinzl L.J. 3rd. et al., 2003; Schmidt G., Monfill G.E., 1995; Tattersall A.J., Hockey G.R., 1995]. Психофизиологическая информация при этом служит определению функционального состояния оператора для оказания ему помощи в управлении автоматизированной системой, с целью предупреждения ухудшения его деятельности в условиях различной психической нагрузки [Byrne E.A., Parasuraman R., 1996]. Ситуации недостаточной психической нагрузки (монотонии), когда доля автоматики в управлении высока, ситуации психического перенапряжения, когда чрезмерная психическая нагрузка не компенсируется уровнем автоматики, являются реальными источниками снижения эффективности и надежности деятельности операторов [Brookhuis K.A. et al., 2003; De Waard D., 1996; Rueb J. et al., 1992].

В главе 1.3 мы попытались дать развернутое описание исследований, в которых показатели ВСП использовались для анализа различных видов психи-

ческих 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 подробно останавливались в главе 1.4. Несмотря на противоречивость данных исследований относительно абсолютной и дифференциальной чувствительности показателей ВСП к уровням психической нагрузки [Prinzel L.J. 3rd et al. 2001; Prinzel L.J. 3rd, 2002; Prinzel L.J. 3rd et al. 2003], показатели ВСП продолжают относиться к потенциальным кандидатам адаптивной автоматики по результатам исследований, в которых была продемонстрирована их высокая чувствительность к изменениям в рабочей нагрузке операторов [Backs R.W. et al., 1994; Itoh Y. et al., 1989; Lindholm E., Cheatham C.M., 1983; Lindqvist A. et al., 1983; Opmeer C.H., Krol J.P., 1973; Ronen A. et al., 2002; Sayers B.McA., 1973; Sekiguchi C. et al., 1978].

В данном параграфе мы попытаемся 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 собираемся оценить чувствительность отдельных показателей ВСП к воздействию различных уровней психической нагрузки с учетом нашей классификации функциональных состояний [Машин В.А., 2007с].

В эксперименте приняли участие 84 кандидата на оперативные должности АЭС, которые проходили профессиональный отбор в ЛПФО НВУТЦ. У всех кандидатов (средний возраст = 31.47 лет, SD = 6.62 лет) отсутствовали клинические формы нарушения здоровья.

Экспериментальная программа включала в себя регистрацию сердечного ритма обследуемых перед началом выполнения заданий (исходный уровень, положение "сидя в кресле", длительность 10 минут), и в процессе психической

нагрузки. Психическая нагрузка моделировалась с помощью заданий методики Шульте-Горбова "Черно-красная таблица" (компьютерный вариант). На экране дисплея в виде таблицы в случайном порядке располагались красные числа от 1 до 24 и черные от 1 до 25. Методика включала в себя три задания, первые два из которых имели объективно одинаковые требования к восприятию, оперативной памяти и вниманию исполнителя. В первом задании от обследуемых требовалось найти и указать (с помощью "мыши") все числа красного ряда от 1 до 24, а во втором - все числа черного ряда от 25 до 1. Субъекты контролировали цвет и последовательность числового ряда. С помощью первых двух заданий методики Шульте-Горбова моделировался умеренный уровень психической нагрузки. Третье задание представляло собой одновременное (параллельное) выполнение двух задач: необходимо выбрать все числа черного ряда от 25 до 1 (в убывающем порядке) и все числа красного ряда от 1 до 24 (в возрастающем порядке), чередуя числа из черного и красного ряда. Содержание третьего задания отражало более высокие требования к оперативной памяти и вниманию исполнителя, от которого требовалось одновременно контролировать цвет и последовательность двух числовых рядов, имеющих противоположную направленность. С помощью третьего задания методики Шульте-Горбова моделировался высокий уровень психической нагрузки. В каждом задании автоматически осуществлялся контроль допущенных обследуемым ошибок (максимум четыре на одну попытку) и выполненных попыток (максимум 3 на одно задание). Все кандидаты хорошо владели ЭВМ и не испытывали проблем с манипулированием компьютерной "мышью". По результатам выполнения трех заданий методики Шульте-Горбова для каждого обследуемого были получены объективные показатели деятельности: T_i - время выполнения задания, NC_i - количество ошибок на цвет, NS_i - количество ошибок на последовательность, NT_i - количество попыток (i – номер задания).

Для анализа ВСР методами временной области рассчитывались следующие статистические показатели: M (средний R-R интервал), $SDNN$ (среднее квадратическое отклонение R-R интервалов), $RMSSD$ (квадратный корень из

среднего значения квадратов разностей величин последовательных R-R интервалов). Методами частотной области рассчитывались спектральные показатели ВСР: мощность спектральной плотности (в мсек²) в высокочастотном (HF, 0.15-0.4 Гц) и низкочастотном (LF, 0.04-0.15 Гц) диапазонах. Из показателей графа сердечного ритма в анализ были включены: ND (число узлов графа), NRib (число ребер графа), b_1 (тангенс угла наклона линии регрессии графа), F_0 (накопленная частота по первому рангу циклических компонент графа). Процедура классификации функциональных состояний на основе трехфакторной модели ВСР описана в главе 3.2. Нормирование показателей факторной структуры выполнялось по данным референтной группы (848 здоровых мужчины, средний возраст = 29.73 лет, SD = 6.43 лет).

По результатам тестирования из 84 кандидатов 7 человек не смогли выполнить наиболее сложное третье задание методики Шульте-Горбова даже с третьей попытки (напомним, что максимальное число попыток на каждое задание - 3). В табл. 16 представлены результаты успешного выполнения всех заданий методики 77 обследуемыми. Поскольку распределения результатов выполнения заданий не отвечали требованию нормальности, мы воспользовались непараметрическим T-критерием Вилкоксона (зависимые выборки) для их сравнения. Согласно T-критерию Вилкоксона показатели выполнения первых двух заданий не имели статистически значимых различий ($p_T < 0.520$, $p_{NC} < 0.809$, $p_{NS} < 0.859$, $p_{NT} < 1.000$, соответственно, время выполнения задания - T, количество ошибок на цвет - NC, количество ошибок на последовательность - NS и количество попыток - NT). Это подтверждает наше исходное предположение о равенстве уровня психической нагрузки для первых двух заданий.

В тоже время, результаты выполнения третьего задания указывают на значимый рост объективной трудности задачи, который не связан с простым увеличением длины ряда чисел для поиска (в этом случае время выполнения третьего задания было бы приблизительно равно удвоенному времени выполнения первых двух заданий). Этот рост отражает сложные процессы переключения и распределения внимания (и связанные с этим процессы восприятия и

памяти) между двумя параллельными задачами. Для доказательства мы разделили показатели времени выполнения третьего задания на два, а затем сравнили их с результатами первых двух заданий. В итоге и для первого и для второго задания по Т-критерию Вилкоксона были получены статистически значимые различия с третьим заданием по времени выполнения ($p < 0.01$).

Таблица 16.

Средние значения показателей выполнения заданий методики Шульте-Горбова (в скобках указаны их стандартные отклонения): Т - время выполнения задания, NC - количество ошибок на цвет, NS - количество ошибок на последовательность, NT - количество попыток [Машин В.А., 2007с].

Показатели	Задание 1	Задание 2	Задание 3
Т	57.75 (18.17)	58.44 (14.84)	198.04 (43.92)
NC	0.085 (0.447)	0.081 (0.412)	0.584 (0.965)
NS	0.060 (0.302)	0.068 (0.314)	0.436 (1.045)
NT	1.034 (0.182)	1.034 (0.225)	1.545 (0.699)

На следующем шаге с помощью критерия Пирсона (χ^2) было проверено согласие между частотой диагностируемых классов функциональных состояний (см. табл. 17) при различных уровнях психической нагрузки: 0 – исходный уровень, 1 – первое задание, 2 – второе задание, 3 – третье задание методики Шульте-Горбова. Предварительно для каждого условия (уровня психической нагрузки) были объединены данные по ячейкам с частотой менее 5 [Ллойд Э. и др., 1989]: ФК2, ФК6, ФК7 и ФК8. Значения критерия согласия при сравнении частот классов функциональных состояний, диагностированных при выполнении всех трех заданий, с исходным уровнем указывают на статистически значимые различия между ними ($p < 0.0001$): соответственно, $\chi_{01}^2 = 41.41$, $\chi_{02}^2 = 45.81$, $\chi_{03}^2 = 26.14$. Статистически значимые различия были получены при сравнении частот классов функциональных состояний, диагностированных при выполнении третьего задания (высокий уровень психической нагрузки), с частотой

тами классов функциональных состояний, диагностированных при выполнении первого и второго заданий (умеренный уровень психической нагрузки): $\chi_{13}^2 = 12.92$ ($p < 0.012$), $\chi_{23}^2 = 21.45$ ($p < 0.0003$). В тоже время, сравнение частот классов функциональных состояний, диагностированных при выполнении первого и второго заданий (уровень психической нагрузки одинаков), позволяет сделать вывод в пользу статистически значимого согласия между ними: $\chi_{12}^2 = 6.70$ ($p < 0.158$).

Таблица 17.

Частота (в скобках указаны проценты) диагностирования функциональных классов (ФК) на различных стадиях эксперимента (при различных уровнях психической нагрузки) [Машин В.А., 2007с].

Стадии	ФК1	ФК2	ФК3	ФК4	ФК5	ФК6	ФК7	ФК8
Исходный уровень	7 (8.33)	2 (2.38)	18 (21.43)	26 (30.95)	24 (28.57)	2 (2.38)	1 (1.19)	4 (4.76)
Задание 1	7 (8.33)	5 (5.95)	9 (10.71)	18 (21.43)	31 (36.90)	2 (2.38)	8 (9.52)	4 (4.76)
Задание 2	11 (13.10)	5 (5.95)	10 (11.90)	11 (13.10)	35 (41.67)	4 (4.76)	6 (7.14)	2 (2.38)
Задание 3	4 (4.76)	3 (3.57)	13 (15.48)	19 (22.62)	38 (45.24)	2 (2.38)	5 (5.95)	0 (0.00)

Остановимся на содержательной интерпретации полученных различий в диагностике классов функциональных состояний на различных стадиях эксперимента (см. табл. 17). Исходное состояние (перед началом выполнения тестовой методики) характеризовалось значительной частотой диагностирования функциональных классов "Эмоциональное возбуждение" (21.43%) и "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" (30.95%). Преобладание различных форм эмоционального возбуждения в исходном состоянии объясняется тревожно-эмоциональными реакциями в ситуации ожидания выполнения ответственных заданий. Неожиданно высокой оказалась частота

та диагностирования функционального класса "Психическое напряжение" (28.57%) в исходном состоянии.

С началом выполнения первого задания (умеренная психическая нагрузка) наблюдается снижение частоты диагностирования классов функциональных состояний связанных с эмоциональным возбуждением (32.14%, 27 обследуемых) и рост классов функциональных состояний связанных с психическим напряжением (ФК5, ФК6, ФК7, ФК8: 53.57%, 45 обследуемых). Такая же картина сохраняется и при выполнении второго задания: соответственно, 26.19% (22 обследуемого) и 54.76% (46 обследуемый). 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). Но данная тенденция не достигает статистически значимого уровня. Переход к выполнению третьего задания, с высоким уровнем психической нагрузки, приводит к статистически значимому снижению частоты диагностирования функционального класса "Норма" (4.76%, 4 обследуемых), возрастанию частоты диагностирования функциональных классов, связанных с эмоциональным возбуждением (38.10%, 32 обследуемого) при сохранении частоты диагностирования функциональных классов, отражающих психическое напряжение (53.57%, 45 обследуемых). Этот 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 инструкцией попытки.

Кроме общей динамики функциональных классов при воздействии различной психической нагрузки необходимо также отметить пеструю динамику

диагностированных функциональных классов на уровне отдельных обследуемых. Например, различные формы эмоционального возбуждения на исходном уровне (высокие значения нормированных показателей $SDNN_n$ и b_{1n}) могут сменяться психическим напряжением при выполнении первого задания (снижение нормированных показателей M_n и $SDNN_n$), нормализацией состояния при выполнении второго задания (повышение нормированных показателей M_n и $SDNN_n$, снижение b_{1n}) 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 47 обследуемых (55.95%) отмечено изменение функциональных классов согласно трехфакторной модели ВСП. Это сопровождалось следующей динамикой нормированных показателей ВСП: повышением среднего R-R интервала (M_n) у 1.19% обследуемых и его понижением у 53.57%; повышением общей вариабельности сердечного ритма ($SDNN_n$) у 5.95% и его снижением у 55.95%; снижением показателя b_{1n} у 42.86% и его повышением у 33.33%. В тоже время, при выполнении второго задания (сохраняется умеренный уровень психической нагрузки) изменения были наименее выраженные: только у 25 обследуемых (29.76%) была отмечена динамика диагностированных функциональных классов при сравнении с выполнением первого задания. Показатель M_n повысился у 21.42%, а снизился у 10.71%; показатель $SDNN_n$ возрос у 22.62% и понизился у 17.86%; индекс b_{1n} снизился у 23.81% и повысился у 25%. Наконец, при переходе от второго задания к третьему (высокий уровень психической нагрузки) для 36 обследуемых (42.86%) была характерна динамика диагностированных функциональных классов со следующими изменениями нормированных показателей: показатель M_n повысился только у 2.38%, а снизился у 41.67%; показатель $SDNN_n$ возрос у 26.19% и понизился у 23.81%; индекс b_{1n} снизился у 14.29% и повысился у 42.86%.

В данном исследовании из 7 обследуемых, которые не смогли выполнить третье задание, у 2 (28.57%) были диагностированы функциональные состояния класса "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" (выраженное нервно-эмоциональное возбуждение), у 4 (57.14%) - "Психическое напряжение" (психическое перенапряжение) и у 1 (14.29%) – "Норма". Ранее мы подробно останавливались на негативных последствиях таких функциональных состояниях, как эмоциональное перевозбуждение и психическое перенапряжение при выполнении оператором ответственной деятельности, поэтому отдельно рассмотрим последнего обследуемого, у которого неожиданно был диагностирован функциональный класс "Норма". Для него было характерно отсутствие мобилизации ресурсов организма при выполнении дополнительных попыток в третьем задании (обычно это сопровождается ростом напряжения: снижением M_n , $SDNN_n$ и повышением b_{1n}) и сохранение функционального класса "Норма" при выполнении всех трех заданий. Было выдвинуто предположение, что отсутствие роста психического напряжения при различных уровнях психической нагрузки (и неудачных попытках в третьем задании) может быть объяснено низким уровнем мотивации обследуемого (низкой значимостью для него результатов тестирования).

Например, в исследовании [Zanstra Y.J. et al., 2006] обследуемые в течение моделируемого рабочего дня трижды выполняли контрольные пробы - задачи теста Струпа с различным уровнем психической нагрузки. Если для здоровых обследуемых (первая группа) было характерно последовательное в течение дня от пробы к пробе повышение скорости выполнения и снижения общего числа ошибок на фоне повышения ЧСС и снижения спектральной мощности в HF диапазоне ВСР, то у лиц с синдромом выгорания с каждой контрольной пробой скорость выполнения снижалась, число ошибок возрастало, при этом ЧСС не изменялась, а значения показателя HF были значимо выше, чем в первой группе, особенно в последней пробе и при выполнении наиболее сложных задач теста. Авторы пришли к выводу, что лица с синдромом выгорания при выполнении повторных контрольных проб демонстрировали, фактически, отказ

от деятельности (низкая мотивация): нежелание прилагать необходимых усилий при явном снижении качества работы. (Заметим, что в исходном состоянии покоя перед выполнением каждой контрольной пробы, физиологические показатели между двумя группами не различались.)

Проведенная с обследуемым психологическая диагностика, которая включала в себя выполнение различных тестов, заполнение личностных опросников и заключительное собеседование, подтвердила нашу гипотезу. Как оказалось, оперативная деятельность, с ее высокой ответственностью и работой по сменам, мало его интересовала, как и результаты обследования. Заметим, что в своей практике профессионального отбора мы также констатировали низкую профессиональную мотивацию у субъекта, у которого на фоне низкой эффективности выполнения тестовых заданий диагностировался функциональный класс "Норма с преобладанием симпатической активности" (экономичная регуляция сердечного ритма при воздействии психической нагрузки).

Разнонаправленная динамика диагностированных функциональных классов при различных уровнях психической нагрузки не позволяла нам использовать для анализа чувствительности показателей ВСР данные по всей выборке, поскольку это могло привести лишь к оценке "средней температуры по больнице". Для этих целей мы остановились на двух основных диагностированных функциональных состояниях, связанных с процессами эмоционального возбуждения и психического напряжения. Для анализа динамики показателей ВСР были сформированы две группы. В первую (12 человек, группа "А" – "Arousal") вошли обследуемые, у которых при выполнении всех трех заданий методики Шульте-Горбова диагностировались функциональные состояния, связанные с эмоциональным возбуждением (ФК3 и ФК4). Вторую (25 человек, группа "S" – "Strain") составили обследуемые, которые устойчиво характеризовались функциональным классом "Психическое напряжение" (ФК5) при выполнении всех трех заданий. Перед выполнением тестовых заданий (исходная стадия) в группе "А" у 9 обследуемых (75%) диагностировались различные формы эмоционального возбуждения (с преобладанием функционального класса "Эмоциональное

возбуждение" – 7 человек), у 2 (17%) – "Норма" и 1 (8%) – "Норма с преобладанием симпатической активности". Для группы "S" на исходной стадии было характерно преобладание функционального класса "Психическое напряжения" (16 человек, 64%). У 8 обследуемых (32%) диагностировались различные формы эмоционального возбуждения (с доминированием функционального класса "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" – 7 человек) и 1 (4%) – "Норма с преобладанием симпатической активности". Из-за малого числа наблюдений для оценки нормальности распределения показателей ВСР по каждой группе использовался нормальный вероятностный график [Ллойд Э. и др., 1989]. Поскольку значения для всех показателей ВСР отклонялись от прямой линии графика, предположение о нормальности распределения было отклонено, и для статистического анализа были использованы непараметрические критерии.

В табл. 18 приведены значения показателей ВСР для групп "А" и "S" при различных уровнях психической нагрузки. Достоверность различий между группами для каждого уровня психической нагрузки оценивалась с помощью непараметрического U – критерия Манна-Уитни для независимых выборок. Согласно данному критерию были получены высокие статистически значимые различия между группами "А" и "S" для каждого уровня психической нагрузки. В сравнении с группой "А" для группы "S" характерны более низкие значения показателей как для временной области ВСР, так и для частотной. Для показателей графа сердечного ритма статистически более высокие значения в группе "S" были получены для F_0 и b_1 , и более низкие для ND и NRib.

Дополнительно были проанализированы индексы относительных изменений (реактивности - FR) показателей ВСР для групп "А" и "S" при росте уровня психической нагрузки, которые рассчитывались по формуле: $FR=100 \times (F_2 - F_1)/F_1$, где F_1 – первоначальное значение, F_2 – конечное значение показателя. Достоверность различий полученных индексов между группами "А" и "S" оценивалась с помощью U – критерия Манна-Уитни. Согласно данному критерию, отсутствовали статистически значимые различия в индексах относительных

изменений показателей ВСР между группами "А" и "S" как при переходе от исходного уровня психической нагрузки к умеренному (выполнение первого задания), так и при переходе от умеренного уровня к высокому (от выполнения второго к третьему заданию).

Таблица 18.

Средние значения показателей ВСР (в скобках указаны их стандартные отклонения) для группы "А" ("эмоциональное возбуждение") и группы "S" ("психическое напряжение") при различных уровнях психической нагрузки [Машин В.А., 2007с].

ВСР	Исходный уровень		Задание 1		Задание 2		Задание 3	
	Гр. А	Гр. S	Гр. А	Гр. S	Гр. А	Гр. S	Гр. А	Гр.S
M	814.40 (101.66)	649.94** (48.71)	723.98 (112.79)	588.83** (42.06)	743.12 (104.28)	591.38** (47.03)	700.43 (113.17)	560.62** (49.83)
SDNN	52.37 (20.64)	22.99** (8.90)	38.04 (9.96)	14.46** (4.66)	39.25 (12.82)	14.72** (5.26)	40.85 (12.67)	14.33** (4.95)
RMSSD	46.17 (20.74)	16.93** (7.81)	32.45 (10.09)	10.95** (3.92)	34.62 (11.08)	10.78** (3.99)	32.96 (11.13)	9.49** (3.42)
ND	29.06 (1.78)	21.21** (4.63)	27.62 (2.65)	16.89** (4.59)	28.26 (2.01)	16.92** (4.84)	27.40 (2.71)	15.80** (4.54)
NRib	30.99 (0.87)	25.50** (4.06)	30.13 (2.13)	22.17** (5.00)	30.83 (1.05)	22.01** (5.13)	30.11 (1.78)	20.23** (5.31)
F₀	1.58 (1.79)	10.92** (7.57)	3.14 (4.97)	15.77** (10.23)	1.86 (2.12)	16.55** (9.92)	3.18 (3.70)	22.61** (13.51)
b₁	0.571 (0.132)	0.692* (0.087)	0.611 (0.115)	0.686* (0.091)	0.597 (0.062)	0.695* (0.094)	0.654 (0.077)	0.740* (0.074)
LF	1636.61 (1437.92)	447.62** (327.94)	744.46 (394.78)	142.47** (93.02)	987.69 (959.90)	161.89** (116.48)	1028.36 (649.26)	172.69** (119.18)
HF	1121.79 (1057.56)	177.77** (172.61)	577.03 (271.64)	77.07** (56.58)	526.55 (363.89)	71.64** (59.03)	715.62 (480.98)	69.76** (42.64)

** - $p < 0.001$, * - $p < 0.01$: уровень значимости U – критерия Манна-Уитни для оценки различий между показателями групп при различных уровнях психической нагрузки.

Таблица 19.

Уровень значимости T – критерия Вилкоксона для оценки выраженности изменений показателей ВСР в группах "А" ("эмоциональное возбуждение") и "S" ("психическое напряжение") при различных уровнях психической нагрузки: ИУ – исходный уровень, 1, 2 и 3 – задания теста Шульте-Горбова [Машин В.А., 2007с].

ВСР	ИУ – 1		1 – 2		2 – 3	
	Группа А	Группа S	Группа А	Группа S	Группа А	Группа S
M	0.004**	0.000***	0.099	0.600	0.023*	0.000***
SDNN	0.005**	0.000***	0.695	0.861	0.583	0.778
RMSSD	0.008**	0.000***	0.182	0.757	0.638	0.074
ND	0.028*	0.001***	0.534	0.798	0.099	0.326
NRib	0.158	0.004**	0.213	0.882	0.060	0.049*
F₀	0.272	0.026*	0.347	0.882	0.071	0.009*
b₁	0.248	0.757	0.530	0.590	0.023*	0.012*
LF	0.008***	0.000***	0.347	0.242	0.480	0.778
HF	0.136	0.000***	0.308	0.397	0.239	0.819

*** - $p < 0.001$, ** - $p < 0.01$, * - $p < 0.05$.

Отдельно были проанализированы для каждой группы изменения показателей ВСР при различных уровнях психической нагрузки: исходный уровень, умеренный уровень (выполнение первого и второго задания) и высокий уровень (выполнение третьего задания) психической нагрузки. Для этого использовался непараметрический T -критерий Вилкоксона для зависимых выборок (см. табл. 19). В первую очередь отметим отсутствие статистически значимых изменений показателей ВСР от первого ко второму заданию как в группе "А", так и в

группе "S". Это еще раз доказывает, что уровень психической нагрузки в первом и во втором задании был одинаков. Для группы "S" статистически значимые изменения по критерию Т-Вилкоксона были получены для показателей M, NRib (последовательное снижение значений) и F_0 (последовательное возрастание) как при переходе от исходного уровня к умеренному уровню психических нагрузок (задание 1), так и при переходе от умеренного к высокому (задание 2 – задание 3). В группе "A" такая статистически значимая дифференциальная чувствительность к различным уровням психической нагрузки была получена лишь для показателя M. В группе "S" изменение показателей SDNN, RMSSD, ND, LF и HF было статистически значимо лишь для перехода от исходного уровня к умеренному (выполнение первого задания). Для группы "A" такая динамика была характерна для показателей SDNN, RMSSD, ND и LF. Такие показатели как NRib, F_0 и HF не изменялись в группе "A" при умеренном уровне психической нагрузки. Показатель b_1 демонстрировал статистически значимые изменения в обеих группах лишь при переходе к высокому уровню психической нагрузки.

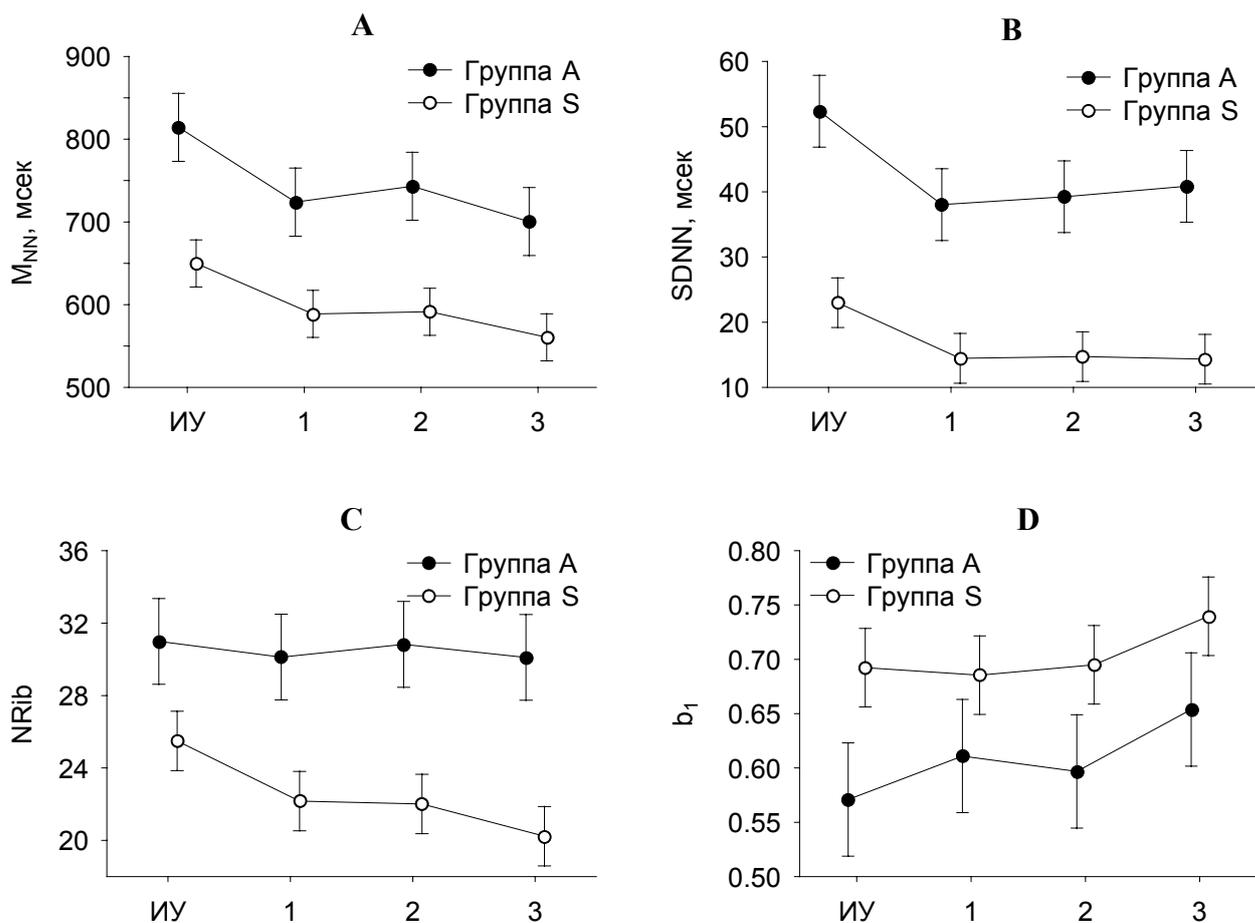
На рис. 13 представлены основные варианты изменения показателей BCP при различных уровнях психической нагрузки. Можно отметить (см. рис. 13B) повышение показателя SDNN в группе "A" при выполнении третьего задания (что вероятно связано с ростом эмоционального возбуждения, характерного для данной группы). Но данные изменения не достигают статистически значимых значений. Также в группе "A" наблюдается повышение показателя b_1 при переходе от исходного состояния к выполнению первого задания (см. рис. 13D), что можно отнести к росту доли активности надсегментарных структур головного мозга в регулировании сердечного ритма. Но, как и в первом случае, данный тренд не достигает статистически значимых значений.

Таким образом, показатель M (среднее значение R-R интервалов) обладает дифференциальной чувствительностью ко всем уровням моделируемой психической нагрузки (исходное состояние, умеренный уровень и высокий уровень) как в группе "A" (функциональные состояния, связанные с эмоциональ-

ным возбуждением), так и в группе "S" (функциональный класс "Психическое напряжение").

Рисунок 13.

Графики средних значений показателей ВСР (с 95% доверительными интервалами) для групп "А" ("эмоциональное возбуждение") и "S" ("психическое напряжение") при различных уровнях психической нагрузки: ИУ - исходный уровень, 1 и 2 – умеренный, 3 – высокий [Машин В.А., 2007с].



Для группы "S" показатели NRIb и F_0 также оказались дифференциально чувствительными ко всем уровням психической нагрузки. Для обеих групп показатель b_1 чувствителен лишь к высокому уровню психической нагрузки. Как для группы "А", так и для группы "S" такие показатели, как SDNN, RMSSD, ND и LF чувствительны лишь к переходу от исходного состояния к психической нагрузке и не чувствительны к уровню психической нагрузки (абсолютная чувствительность). Для показателя HF такая чувствительность характерна только в

группе "S". В работе [Jorna P.G.A.M., 1992] автором был выполнен обзор данных лабораторных и полевых исследований спектрального анализа ритма сердца и сделано предположение, что изменения в психической нагрузке будут вызывать изменения в спектральных показателях ВСП только в том случае, когда индивид вынужден выполнять две задачи одновременно. Результаты нашего исследования не подтверждают данное предположение, как и вывод R.W. Backs [1997], что показатели ВСП чувствительны лишь к задачам на распределение внимания и не изменяются при выполнении задач на концентрацию внимания. Полученные нами данные указывают на необходимость контролировать при оценке психических нагрузок гетерогенность индивидуальной динамики показателей ВСП.

Сформулируем основные выводы представленного исследования. Данное экспериментальное исследование позволило проанализировать характер изменений классов функциональных состояний и показателей ВСП кандидатов на оперативные должности при различных уровнях психической нагрузки. Результаты исследования демонстрируют разнообразную и сложную динамику функциональных классов, диагностированных с помощью трехфакторной модели ВСП у кандидатов при выполнении задач различной сложности. Гетерогенность индивидуальных данных позволяет объяснить противоречивость результатов исследований, в которых анализировалась связь показателей ВСП с различными уровнями психических нагрузок.

В нашем исследовании в исходном состоянии (перед началом выполнения ответственных заданий) преобладали различные формы эмоционального возбуждения (состояние тревожного ожидания). Неожиданно высокая частота функционального класса "Психическое напряжение" была отмечена на этой стадии. При умеренной психической нагрузке зафиксировано снижение частоты диагностируемых функциональных классов, связанных с эмоциональным возбуждением, и рост функциональных состояний, связанных с психическим напряжением. Переход к высокому уровню психической нагрузки привел к статистически значимому снижению частоты функционального состояния "Нор-

ма" и возрастанию эмоционального возбуждения. Этот рост отражает тревожно-эмоциональные реакции на возросшую сложность задачи, рост числа допущенных при выполнении ошибок, необходимость выполнения дополнительных попыток (конфликт с установкой на достижение положительного результата).

Анализ чувствительности показателей ВСП к различным уровням психической нагрузки был выполнен для двух групп, которые устойчиво характеризовались при выполнении всех трех заданий либо процессами эмоционального возбуждения (группа "А"), либо психического напряжения (группа "S"). Для них были получены высокие статистически значимые различия между показателями ВСП для каждого уровня психической нагрузки.

Анализ отдельных показателей ВСП по группам показал, что значения среднего R-R интервала (M) обладают дифференциальной чувствительностью ко всем уровням психической нагрузки (исходный, умеренный и высокий) как в группе "А" (различные формы эмоционального возбуждения), так и в группе "S" ("Общее напряжение"). Для группы "S" показатели NRib и F_0 также оказались дифференциально чувствительны ко всем уровням психической нагрузки. Для обеих групп показатель b_1 был чувствителен лишь к высокому уровню психической нагрузки (при сравнении с исходным уровнем). Как для группы "А", так и для группы "S" такие показатели, как SDNN, RMSSD, ND и LF были чувствительны лишь к переходу от исходного уровня к психической нагрузке, без дискриминации по уровню психической нагрузки (абсолютная чувствительность). Для показателя HF абсолютная чувствительность была установлена для группы "S".

Результаты данного исследования подтвердили негативную роль как психического перенапряжения, так и эмоционального перевозбуждения на эффективность выполнения ответственных заданий. Также было установлено, что диагностирование функциональных классов "Норма" и "Норма с преобладанием симпатической активности" в процессе воздействия психических нагрузок, когда наблюдается низкая надежность и эффективность деятельности, и когда отсутствуют объективные условия для развития монотонии, снижения активности

оператора (усилий направленных на преодоление возникших проблем) может служить индикатором низкой мотивации субъекта на решение профессиональных задач.

Анализ динамики функциональных состояний при воздействии различных уровней психической нагрузки заставил нас обратить более пристальное внимание на содержание тревожных состояний, вызванных эмоциональными нагрузками. Данному вопросу посвящен заключительный параграф данной главы.

4.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕВОЖНЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Исследования состояний тревожности операторов крайне важны, так как тревога делает человека более чувствительным к признакам опасного развития событий и, тем самым, позволяет вовремя локализовать источник этой опасности, организовать ресурсы для его нейтрализации и выстроить адекватную линию поведения [Каплан А.Я., 2003; Машин В.А. и др., 1997; Машин В.А., 2007b; Михайленко А.А. и др., 1990; Попов С.Е., 1983]. В тоже время, повышенная тревожность может мешать принятию правильного решения в критической ситуации, а тревожные переживания после локализации и ликвидации нарушения или аварии могут способствовать росту аллостатической нагрузки [Hockey G.R.J. et al., 2003; McEwen B.S., Seeman T., 1999; McEwen B.S., Stellar E., 1993; Sterling P., Eyer J., 1988].

Анализ variability сердечного ритма находит широкое применение в изучении вегетативных коррелятов тревожных состояний и, в первую очередь, их клинических форм: навязчивых страхов (фобий), панических расстройств, генерализованного тревожного расстройства, обсессивно-компульсивного расстройства, посттравматического стрессового расстройства [Cohen H. et al., 2000; Slaap B.R. et al., 2004; Yeragani V.K. et al., 2000]. Значительное число работ посвящено прогнозированию риска сердечно-сосудистых заболеваний и смертно-

сти при наличии различных форм тревожных расстройств и связанных с ними вегетативных изменений [Collins S.M. et al., 2005; Massin M.M. et al., 1999; Piccirillo G. et al., 1998]. Результаты последних исследований доказывают, что тревожные расстройства являются значимыми и независимыми риск-факторами развития сердечно-сосудистых заболеваний и внезапной смерти от сердца [Lovallo W.R., Gerin W., 2003; Schwartz A.R. et al., 2003]. Анализ вариабельности сердечного ритма используется также для оценки эффективности различных методов терапевтического воздействия при тревожных расстройствах [Lyonfields J.D. et al., 1995; Mezzacappa E. et al., 1998a; Middleton H.C., Ashby M., 1995; Yeragani V.K. et al., 1992]. Неклинические формы тревожных состояний (ситуативная тревожность, тревожность как черта характера) исследуются при анализе реакций вегетативной нервной системы на различные типы стрессоров [Данилова Н.Н. и др., 1995; Bazhenova O.V., Porges S.W., 1997; Dobkin P.L., Pihl R.O., 1992; Friedman B.H., Thayer J.F., 1998a].

При изучении тревожных расстройств получены данные, которые демонстрируют связь между клиническими симптомами тревожности и снижением вариабельности сердечного ритма. В исследовании [Kawachi I. et al., 1995] наличие симптомов фобической тревожности у пациентов сопровождалось понижением общей вариабельности сердечного ритма в покое (показателя SDNN). В другом исследовании [Lyonfields J.D. et al., 1995] клинически тревожные индивиды демонстрировали более низкий вагусный сердечный тонус в покое (оценивался показателем HF). При этом ряд исследований показали, что редукция мощности спектра в HF диапазоне может сопровождаться снижением общей вариабельности сердечного ритма, несмотря на возможное повышение мощности спектра колебаний ритма сердца в низкочастотном диапазоне (показателя LF) [Friedman B.H., Thayer J.F., 1998b; Yeragani V.K. et al., 1998]. В исследовании [Fried R., 1990] пациенты, испытывающие чувства тревоги, страха и напряжения имели существенно сниженную ДСА. Снижение мощности спектра в HF диапазоне ВСР (ДСА), уменьшение тонуса вагусной сердечной активности отмечается в ряде отчетов по клиническим формам тревожности, включая

общие тревожные нарушения, панические нарушения и страх крови [Cohen H. et al., 2000; Friedman B.H., George D.T. et al., 1989; Thayer J.F., 1998a; Thayer J.F. et al., 1996; Thayer J.F., Lane R.D., 2000]. Эти данные позволили связать тревожные расстройства с вегетативной ригидностью (непластичностью) [Borkovec T.D., Hu S., 1990; Borkovec T.D. et al, 1993; Friedman B.H., Thayer J.F., 1998a; Hoehn-Saric R. et al, 1989; Hoehn-Saric R., McLeod D.R., 2000; Lyonfields JD et al, 1995; Monk C. et al., 2001; Thayer J.F. et al., 1996; Thayer J.F., Lane R.D., 2000].

Необходимо отметить, что указанные выше изменения показателей SDNN и HF (ДСА) при тревожных нарушениях не были обнаружены группой исследователей, которые изучали панические и обсессивно-компульсивные расстройства [Slaap B.R. et al., 2004]. Интересные данные были получены при изучении специфических (изолированных) фобий. Исследователи установили отсутствие изменений показателей вариабельности сердечного ритма в покое и при предъявлении нейтральных стимулов, и выраженную вегетативную реакцию на значимые стимулы [McNeil D.W. et al., 1993]. В работе [Wilhelm F.H. et al., 2006] представлены результаты сравнительного анализа женщин, имеющих страх полета (специфическая фобия по критериям DSM-IV), с контрольной группой женщин, не испытывающих выраженного страха полета. В исходном состоянии покоя между группами отсутствовали различия в показателях ЧСС и ДСА. В процессе выполнения реального кратковременного полета (20 минут), для экспериментальной группы были характерны значимо более высокие показатели ЧСС в сравнении с контрольной группой, и тенденция к более низким значениям ДСА. Напомним, что в серии исследований, выполненных под руководством Н.Б. Хаспековой [1999; 2000; 2003], было установлено, что для больных с пароксизмальными вегетативными расстройствами (включая панические атаки) характерно выраженное нарастание SDNN и мощности спектра сердечных колебаний в очень низкочастотном диапазоне (показатель VLF) в предприсупном периоде. Н.Б. Хаспекова отметила важность анализа мощности спектра сердечных сокращений в VLF диапазоне для клинических исследований. Так показатель VLF неуклонно доминировал у больных с психовегетативным

синдромом, коррелируя с высоким уровнем тревоги и дезорганизуя барорефлекторную вазомоторную активность, оцениваемую по LF [Хаспекова Н.Б. и др., 1989, 1991; Хаспекова Н.Б., 1992]. Пик VLF избирательно снижался на фоне приема бензодиазепинов (препаратов, имеющих седативное, противотревожное действие) [Хаспекова Н.Б. и др., 1991; Хаспекова Н.Б., 1996; Хаспекова Н.Б. и др., 1999].

В ряде исследований клинических форм тревожности получены данные о повышенной вегетативной реактивности пациентов на стрессовые стимулы, которая определяется не только симпатической, но также и парасимпатической нервной системой [Hoehn-Saric R., McLeod D.R., 2000]. Эти результаты ставятся под сомнение работами, в которых тревожные индивиды демонстрировали меньшие изменения сердечной активности вагуса во время и после эмоциональных воздействий, чем субъекты без тревожной симптоматики, что указывает на дефицит вегетативной пластичности при тревожных нарушениях [Cohen H. et al., 2000; Monk C. et al., 2001]. Как считают ряд исследователей, снижение в вегетативной реактивности может быть связано с повышенным исходным уровнем функционирования вегетативной нервной системы или с ее адаптацией к хроническим тревожным нарушениям [Berntson G.G. et al., 1998]. Любой из этих двух факторов, полагают они, может содействовать снижению диапазона вегетативного ответа.

В отношении связи неклинических форм тревожности с вегетативной реактивностью результаты противоречивы, но более поздние исследования доказывают, что для неклинических форм тревожности характерна выраженная вегетативная реактивность на стрессовые стимулы [Friedman В.Н., Thayer J.F., 1998a]. Что касается вагусного контроля при неклинических формах тревожности, то и здесь данные различных исследований расходятся, при этом ряд авторов полагают, что для ситуативной или личностной тревожности характерно снижение активности вагуса в состоянии покоя [Beauchaine T., 2001], другие же считают, что связь между тревожностью и вагусным контролем ритма сердца характерна лишь для клинических форм тревожности [Movius H.L., Allen J.J.B.,

2005]. Рассмотрим поподробнее результаты исследований неклинических форм тревожности.

В работе [Movius H.L., Allen J.J.B., 2005] не было обнаружено связи показателя активности вагуса (ДСА) с оценками уровня тревоги по шкале Тейлора, в тоже время в исследовании [Watkins L.L. et al., 1998] индивиды с высокими баллами по опроснику тревожности Спилберга демонстрировали значимое снижение вагусного контроля ритма сердца. В эксперименте Е.Г. Ушаковой и И.Г. Нидеккера [1997] низкий уровень нейротизма сочетался с наличием мощных дыхательных волн в HF диапазоне. В работе [Мастерова Е.И. и др., 1999] субъекты с высокими оценками по личностной тревожности обнаружили неадекватную активность СНС, оцененную показателями ВСР. Для низкотревожных субъектов было характерно преобладание вагусной сердечной активности. В исследованиях [Данилова Н.Н. и др. 1995; Завьялов А.В., Склярчук Н.А., 1994] была установлена достоверная корреляция между индексом напряжения по Бавескому (ИН) и уровнем личностной тревожности по опроснику Спилбергера в условиях относительного покоя. Данное отношение не было подтверждено в эксперименте Ю.В. Щербатых [2002].

В работах [Piccirillo G. et al., 1997, 1998] была проанализирована связь тревожных симптомов с широким спектром показателей ВСР. Участники эксперимента были поделены с помощью вопросника (шкала тревожности Kawachi) на три группы: (1) без симптомов тревожности, (2) один симптом тревожности, (3) два и более симптомов тревожности. Субъекты третьей группы имели значимо более низкие значения в состоянии покоя для всех спектральных показателей ВСР (TP, VLF, LF, HF), чем первая группа. Также третья группа имела значимо более высокие значения для отношения LF/HF, которое положительно коррелировало с оценками симптомов тревожности. Авторы сделали вывод, что лица с высокими оценками тревожности имеют в исходном состоянии повышенную симпатическую сердечную активность.

Ряд лабораторных исследований проанализировали связь уровня тревожности индивидов с показателями ВСР при воздействии психических нагрузок.

В целом преобладают данные, которые указывают на снижение вагусной сердечной активности при возрастании уровня тревожности индивидов. Например, в эксперименте Н.Н. Даниловой и ее коллег [1995] было установлено, что при моделировании арифметической нагрузки высокотревожные испытуемые (по оценкам личностной тревожности – опросник Спилбергера) отличаются от низкотревожных отчетливо выраженной редукцией дыхательных (ДСА) и сосудистых (LF) модуляций при высоких значениях ЧСС.

Большинство исследований клинических и неклинических форм тревожных состояний направлено на сравнение результатов экспериментальной и контрольной групп либо только в состоянии покоя, либо дополнительно оценивается реактивность вегетативной нервной системы на стрессовые воздействия (в лабораторных или внелабораторных условиях). Для этого анализируются данные, полученные в исходном состоянии (до предъявления стрессора) и в процессе действия стрессора (психологической либо физической природы). Но при этом не учитывается тот факт, что само ожидание стрессора (например, психологического теста) может значительным образом влиять на функционирование вегетативной нервной системы [Whitsett S.F. et al., 1987]. Исследования, в которых бы учитывался фактор антиципации (предвосхищения будущих событий) [Bronis M., Marsinova G., 1989; Hofmann S.G. et al., 2005; Stancak A.Jr. et al., 1987], представляют для нас особый интерес. Остановимся на них поподробнее.

Так, в статье [Monk C. et al., 2001] представлены данные о повышении ЧСС и снижении HF у юношей с тревожными расстройствами перед лицом новой ситуации. В исследовании [Mezzacappa E.S. et al., 2001] в период антиципации предстоящего выполнения теста у обследуемых также был отмечен рост ЧСС и снижение показателя RMSSD (уменьшение вагусной сердечной активности). В эксперименте M. Sakakibara и J. Hayano [1996] во время ожидания потенциальной опасности (электрического шока) у студентов наблюдалось значимое снижение парасимпатической сердечной активности (показателя HF). В исследовании [Lin L.Y. et al., 2001] показатели ВСР были использованы для оценки эффектов острого эмоционального стресса (землетрясение на

Тайване) на ВНС. Анализ данных Холтер-мониторинга показал, что ЧСС и отношение LF/HF значительно повысились сразу после землетрясения. Авторы сделали вывод, что это повышение было, главным образом, за счет снижения вагусной сердечной активности. В эксперименте [Lucini D. et al., 2002] была выполнена регистрация физиологических показателей, включая ВСР, у студентов университета перед экзаменом (состояние антиципации) и через 3 месяца позже во время каникул (состояние покоя). Перед экзаменом значения среднего R-R интервала были снижены, артериальное давление значительно повышено. Также значения индексов LF/HF и LF_{nu} были повышены, а HF_{nu} снижены. Была получена общая тенденция к снижению SDNN и HF, повышению LF. В исследовании [Roth W.T. et al., 1992] пациенты с паническими расстройствами, которые сообщали о панических атаках во время 5% ингаляции CO_2 , имели выражено более высокую антиципирующую тревожность до ингаляции, которая сопровождалась повышенным бета-адренергическим сердечным тонусом (рост симпатической сердечной активности).

В целом можно заметить, что в исследованиях ситуаций тревожного ожидания значимого события преобладают выводы о росте симпатической сердечной активности и снижении вагусной активности в регулировании сердечного ритма. Кроме этого, фактор антиципации анализируется с учетом различного уровня тревожности индивидов. Например, в исследовании V.F. Fuller [1992] ВСР анализировалась у высокотревожных и низкотревожных женщин, а также у женщин, которые подверглись репрессиям (высокий уровень тревожности). Выборки R-R интервалов были получены в состоянии покоя за 2 недели, за день и через 1 неделю после прохождения обследуемыми устного экзамена. Результаты показали, что уровень тревоги и ЧСС были максимальными за день до экзамена. Низкотревожные обследуемые имели более низкую ЧСС во всех замерах в сравнении с высокотревожными. ДСА была значимо меньше у обследуемых с выраженными чертами тревожности и не изменялась значимо при различных замерах. Мощность спектра в LF диапазоне была наименьшей для обследуемых с выраженными чертами тревожности и значимо снижалась за

день до тестирования для всех групп. В исследованиях Ю.В. Щербатых [1999, 2000, 2002], ситуация экзаменационного стресса (перед началом экзамена) сопровождалась ростом реактивной тревожности, при этом у "тревожных" студентов наблюдалось более выраженное снижение HF показателя (ослабление ПНС), чем у "низкотревожных" лиц. Автор сделал вывод, что повышение реактивной тревожности перед экзаменом сопровождается активацией симпатической системы и падением активности парасимпатической системы у студентов.

Особняком стоят результаты эксперимента J.W. Sleigh и J.D. Henderson [1995], в котором не была подтверждена положительная связь уровня тревожности с симпатической сердечной активностью. В своем исследовании авторы попытались оценить эффекты дооперационной эмоциональной тревожности, беспокойства пациентов (за день до операции) на различные показатели ВСР (LF, HF). Авторы установили, что не существовало корреляции между тревожностью и средней ЧСС или между тревожностью и спектральной мощностью в среднем частотном диапазоне LF. Однако существовала положительная корреляция между значениями нормированного показателя мощности HF и уровнем тревожности. Из этого авторы сделали вывод, что предоперационная тревожность может быть частично обусловлена вагусным преобладанием в симпато-вагусном балансе.

В рассмотренных выше исследованиях авторы, как правило, ограничивали свой анализ узким перечнем показателей ВСР, выбор которых не аргументировался. Вот почему в одних работах мы сталкиваемся с абсолютными значениями показателей ВСР (чаще всего, HF и LF), в других с их производными индексами (HF_{nu} , LF_{nu} , HF/LF), что, безусловно, затрудняет сравнение результатов различных исследований. Большинство исследователей полагают, что вагусная сердечная активность при различных уровнях тревожности у здоровых субъектов снижена, в тоже время существуют данные, которые не подтверждают эту точку зрения [Movius H.L., Allen J.J.B., 2005; Sleigh J.W., Henderson J.D., 1995].

В данном параграфе мы представляем результаты исследований тревожных состояний, которые моделировались ситуацией профессионального отбора кандидатов на оперативные должности АЭС [Машин В.А., 2007d]. Процедура регистрации показателей ВСР, которую мы использовали в своих исследованиях, позволила нам в лабораторных условиях проанализировать не только эффекты когнитивного компонента психической нагрузки, но и влияния эмоционального компонента психической нагрузки на функциональные состояния человека, что характерно для выполнения задач в реальных обстоятельствах [Sekiguchi S. et al., 1978]. Основным инструментом анализа стала предложенная нами трехфакторная модель ВСР и разработанная на ее основе классификация функциональных состояний. Объективная сложность тестовых заданий, психологическое давление ситуации отбора и высокая значимость результатов выполнения порождали у кандидатов на оперативные должности тревожные состояния, которые и стали предметом наших исследований. Нас интересовала индивидуальная динамика показателей variability сердечного ритма и диагностированных с помощью трехфакторной модели функциональных состояний на стадиях антиципации (предвосхищения выполнения теста) и восстановления после теста. Мы полагали, что на стадиях антиципации и восстановления должны преобладать функциональные состояния с различными формами эмоционального возбуждения (см. табл. 12, глава 3.3). Нам важно было также выяснить возможную психофизиологическую природу устойчиво диагностированных на этих стадиях функциональных состояний класса "Психическое напряжение".

В эксперименте приняли участие кандидаты на оперативные инженерные должности АЭС, которые проходили профессиональный отбор в ЛПФО НВУТЦ. У всех кандидатов отсутствовали какие-либо клинические формы тревожности. Поскольку сама ситуация профессионального отбора не могла не влиять на состояние обследуемых, предварительно (исходная стадия исследования) были отобраны 64 кандидата (средний возраст = 27.23 лет, SD = 2.63 лет), у которых до начала проведения тестовых испытаний по данным трехфак-

торной модели ВСР диагностировались функциональные состояния класса "Норма" (регистрация сердечного ритма выполнялась в положении сидя, в течение 10 минут).

Для анализа вариабельности сердечного ритма методами временной области рассчитывались следующие показатели: M – среднее значение нормальных R-R интервалов (мсек); $SDNN$ – стандартное отклонение нормальных R-R интервалов (мсек), $RMSSD$ (квадратный корень из среднего значения квадратов разностей величин последовательных R-R интервалов). Методами частотной области рассчитывались спектральные показатели вариабельности сердечного ритма: мощность спектральной плотности (в мсек²) в высокочастотном (HF, 0.15-0.4 Гц), низкочастотном (LF, 0.04-0.15 Гц) и очень низкочастотном (VLF, \leq 0.04 Гц) диапазонах. Кроме этого в анализе использовались нормированные значения спектральных показателей: HF/TP (TP – общая мощность спектра), $HF_{nu} = HF/(HF+LF)$, а также отношение LF/HF . Из показателей графа сердечного ритма в анализ был включен b_1 - тангенс угла наклона линии регрессии графа.

Экспериментальная программа состояла из 2 основных стадий. Первая стадия представляла собой ситуацию ожидания (антиципации) обследуемыми начала тестовых испытаний (положение "сидя в кресле", длительность 10 минут). В качестве психологического теста (психическая нагрузка) использовалась методика Шульте-Горбова "Черно-красная таблица" (компьютерный вариант). Вторая стадия эксперимента представляла собой восстановительный период после выполнения тестовых заданий (положение "сидя в кресле", длительность 10 минут). Все обследования проводились в первой половине дня.

В процессе психофизиологических обследований каждый кандидат также заполнял бланки многопрофильного личностного опросника ММРІ (вариант Ф.Б. Березина) [Березин Ф.Б. и др., 1976]. Для последующего анализа были отобраны данные по трем шкалам, отражающим тревожные состояния: D ("Тревога и депрессивные тенденции") - ощущение внутренней напряженности, неуверенности, тревоги, пониженная самооценка, пессимистическая оценка

своих перспектив; Hs ("Соматизация тревоги") – беспокойство за состояние своего физического здоровья, которое возникает на фоне высокого уровня тревоги, наиболее часто наблюдается у тревожных личностей с выраженным вегетативным комплексом тревожных реакций; Pt ("Фиксация тревоги и ограничительное поведение") – сомнения и колебания при необходимости принять решение, тревога и страх по поводу возможных последствий, постоянная готовность к возникновению тревожных реакций, неуверенность в себе, склонность к навязчивому беспокойству, чувству напряженности.

Таблица 20.

Частота диагностирования функциональных классов на различных стадиях эксперимента [Машин В.А., 2007d].

Функциональные классы	Перед тестом (антиципация)	После теста (руминация)
ФК1	10 (15.63%)	9 (14.06%)
ФК2	0	2 (3.13%)
ФК3	35 (54.69%)	33 (51.56%)
ФК4	13 (20.31%)	17 (26.56%)
ФК5	4 (6.25%)	2 (3.13%)
ФК6	0	0
ФК7	1 (1.56%)	1 (1.56%)
ФК8	1 (1.56%)	0

В табл. 20 приведена частота диагностирования функциональных классов у обследуемых с помощью трехфакторной модели ВСП на различных стадиях эксперимента. Как мы и предполагали, наибольшее число классов функциональных состояний на стадиях антиципации и восстановления составили различные формы эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4). На первой стадии

они диагностировались в 75.0% случаях (48 обследуемых), на второй – в 78.12% (50 обследуемых). Для оценки согласия между частотой диагностирования функциональных классов на различных стадиях исследования вычислялся критерий Пирсона (χ^2). Предварительно для каждой стадии были объединены данные по ячейкам с частотой менее 5 [Ллойд Э. и др., 1989]: ФК2, ФК5, ФК6, ФК7 и ФК8. Полученная величина критерия Пирсона для стадий антиципации и восстановления ($\chi^2 = 1.37, p < 0.712$) позволяет принять гипотезу об отсутствии достоверных различий в частоте диагностированных классов функциональных состояний. У 41 обследуемого (64%) функциональные классы, диагностированные на первой стадии эксперимента, совпали с функциональными классами, диагностированными на третьей стадии эксперимента. При этом мы должны отметить богатую палитру диагностированных функциональных классов даже при условии, что на исходной стадии функциональный класс для всех обследуемых был одинаков.

Для дальнейшего анализа обследуемые были объединены в группы, согласно диагностированным на различных стадиях эксперимента основным классам функциональных состояний: ФК1, ФК3, ФК4, ФК5. В табл. 21 приведены средние значения и стандартные отклонения показателей ВСР для полученных групп обследуемых на каждой стадии эксперимента.

Таблица 21.

Средние и стандартные отклонения показателей variability сердечного ритма (ВСР) для основных функциональных классов (ФК), диагностированных на различных стадиях эксперимента [Машин В.А., 2007d].

Показатели	Перед тестом				После теста		
	ФК1	ФК3	ФК4	ФК5	ФК1	ФК3	ФК4
М	857.4 (62.12)	890.8 (80.61)	710.6 (45.52)	694.7 (92.54)	940.6 (114.3)	881.0 (71.55)	733.7 (52.14)
SDNN	63.13 (13.36)	70.34 (19.90)	58.52 (17.70)	29.94 (7.20)	75.77 (23.56)	69.32 (17.69)	53.25 (11.20)

Показатели	Перед тестом				После теста		
	ФК1	ФК3	ФК4	ФК5	ФК1	ФК3	ФК4
RMSSD	52.53 (12.46)	43.55 (13.31)	31.22 (8.40)	18.95 (7.08)	63.40 (18.16)	42.61 (12.12)	31.39 (8.63)
b₁	0.643 (0.052)	0.799 (0.043)	0.844 (0.053)	0.800 (0.068)	0.633 (0.091)	0.798 (0.055)	0.819 (0.056)
VLF	1389 (746.8)	2782 (2215)	1796 (1614)	356 (145)	1882 (1087)	2635 (1834)	1183 (667.5)
LF	1341 (628.7)	1739 (842.6)	1263 (578.9)	356 (153.6)	2488 (1723)	1682 (877.4)	1115 (419.5)
HF	1292 (643.0)	761.6 (465.4)	594.4 (359.2)	201.4 (115.6)	1638 (993.7)	760.0 (475.7)	595.5 (425.5)
HF/TP	0.323 (0.106)	0.147 (0.052)	0.174 (0.078)	0.206 (0.045)	0.283 (0.086)	0.156 (0.066)	0.200 (0.082)
LF/HF	1.257 (0.732)	2.817 (1.416)	2.556 (0.863)	2.115 (0.758)	1.660 (0.879)	2.720 (1.603)	2.446 (1.179)
HF_{nu}	0.481 (0.119)	0.299 (0.096)	0.308 (0.091)	0.342 (0.056)	0.420 (0.127)	0.312 (0.110)	0.329 (0.118)

Чтобы продемонстрировать, насколько значимо различаются показатели ВСР между группами, сравним их на каждой стадии эксперимента. Поскольку данные не отвечали критерию нормальности, был использован непараметрический U-критерий Манна-Уитни (несвязанные выборки). Из-за небольшого объема группа с функциональным классом ФК5 после выполнения теста не анализировалась [Сидоренко Е.В., 2002]. Результаты сравнения между группами представлены в табл. 22.

Согласно U-критерию Манна-Уитни на первой стадии эксперимента (ожидание теста) функциональные группы статистически значимо различались ($p < 0.05$) по следующим показателям ВСР:

(ФК1-ФК3) В сравнении с группой, имеющей функциональные состояния класса "Норма" (ФК1), группа с функциональным классом "Эмоциональное возбуждение" (ФК3) отличалась более высокой активностью надсегментарных

структур головного мозга в управлении сердечным ритмом (b_1), более низкими значениями показателей RMSSD, мощности сердечных колебаний в HF диапазоне и индексов HF/TP и HF_{nu}, а также более высокими значениями мощности VLF и индекса LF/HF.

Таблица 22.

Z-значения U-критерий Манна-Уитни (в скобках указан уровень значимости - p) при сравнении показателей ВСР для групп с различными функциональными классами на двух стадиях эксперимента [Машин В.А., 2007d].

BCP	До теста						После теста		
	ФК1 ФК3	ФК1 ФК4	ФК3 ФК4	ФК1 ФК5	ФК3 ФК5	ФК4 ФК5	ФК1 ФК3	ФК1 ФК4	ФК3 ФК4
M	-1.092 (0.275)	4.031 (0.000)	5.278 (0.000)	2.828 (0.005)	3.240 (0.001)	-0.226 (0.821)	1.855 (0.064)	4.123 (0.000)	5.745 (0.000)
SDNN	-0.792 (0.429)	1.054 (0.292)	2.169 (0.030)	2.828 (0.005)	3.240 (0.001)	2.944 (0.003)	0.782 (0.434)	2.398 (0.017)	3.328 (0.001)
RMSSD	2.239 (0.025)	3.535 (0.000)	3.004 (0.003)	2.828 (0.005)	3.148 (0.002)	2.265 (0.024)	3.213 (0.001)	3.854 (0.000)	3.508 (0.000)
b₁	-4.778 (0.000)	-4.031 (0.000)	-2.610 (0.009)	-2.828 (0.005)	0.324 (0.746)	1.359 (0.174)	-4.552 (0.000)	-4.123 (0.000)	-0.993 (0.321)
VLF	-2.348 (0.019)	-0.248 (0.804)	1.821 (0.069)	2.687 (0.007)	3.240 (0.001)	2.831 (0.005)	-0.966 (0.334)	1.806 (0.071)	3.369 (0.001)
LF	-1.420 (0.156)	0.310 (0.757)	1.891 (0.059)	2.687 (0.007)	3.240 (0.001)	2.944 (0.003)	0.751 (0.453)	1.806 (0.071)	2.591 (0.010)
HF	2.430 (0.015)	2.605 (0.009)	1.125 (0.261)	2.546 (0.011)	2.870 (0.004)	2.265 (0.024)	2.835 (0.005)	3.153 (0.002)	1.587 (0.113)
HF/TP	3.959 (0.000)	2.791 (0.005)	-0.916 (0.340)	2.263 (0.024)	-2.083 (0.037)	-1.132 (0.258)	3.479 (0.001)	2.183 (0.029)	-1.956 (0.051)
LF/HF	-3.740 (0.000)	-3.039 (0.002)	0.093 (0.926)	-2.263 (0.024)	0.741 (0.459)	1.246 (0.213)	-1.977 (0.048)	-1.671 (0.095)	0.297 (0.767)
HF_{nu}	3.768 (0.000)	2.791 (0.005)	-0.220 (0.826)	2.121 (0.034)	-0.741 (0.459)	-1.246 (0.213)	2.130 (0.033)	1.752 (0.080)	-0.317 (0.751)

(ФК1-ФК4) В сравнении с группой, имеющей функциональные состояния класса "Норма" (ФК1), группа с функциональным классом "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" (ФК4) имела более высокую активность надсегментарных структур головного мозга в управлении сердечным ритмом (b_1), преобладание симпатической сердечной активности в вегетативном балансе (M), а также более низкие значения показателей RMSSD, HF, HF/TP и HF_{nu}, и более высокие для индекса LF/HF.

(ФК3-ФК4) В сравнении с группой, имеющей функциональные состояния класса "Эмоциональное возбуждение" (ФК3), группа с функциональным классом "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" (ФК4) характеризовалась более высокой активностью надсегментарных структур головного мозга в управлении сердечным ритмом (b_1) и преобладанием симпатической сердечной активности в вегетативном балансе (M), а также более низким общим вегетативным тонусом (SDNN) и сниженными значениями показателя RMSSD.

Общее отличие группы с функциональным классом "Психическое напряжение" (ФК5) от рассмотренных выше групп заключается в снижении общего вегетативного тонуса (SDNN), абсолютных значений мощности спектра сердечных сокращений в диапазонах VLF, LF и HF, и показателя RMSSD. В сравнении с группами, имеющими функциональные классы "Норма" и "Эмоциональное возбуждение", группа с функциональным классом "Психическое напряжение" также характеризуется преобладанием симпатической сердечной активности в вегетативном балансе (M) и снижением индекса HF/TP. Кроме этого ее отличает от группы с функциональным классом "Норма" более высокая активность надсегментарных структур головного мозга в управлении сердечным ритмом (b_1), повышение по индексу LF/HF и снижение нормированного показателя HF_{nu}.

Для второй стадии эксперимента (восстановление после теста) согласно U-критерию Манна-Уитни были установлены следующие статистически значимые различия показателей ВСР между группами. Группы с различными фор-

мами эмоционального возбуждения отличаются от группы с функциональным классом "Норма" более высокой активностью надсегментарных структур головного мозга в управлении сердечным ритмом (b_1), низкими значениями показателя мощности в HF диапазоне и индекса HF/TP. Группу с функциональным классом "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" дополнительно отличает от группы с ФК1 преобладание симпатической сердечной активности в вегетативном балансе (M) и более низкий общий вегетативный тонусом (SDNN), а группу с функциональным классом "Эмоциональное возбуждение" - более низкие значения HF_{nu} и более высокие LF/HF. Кроме преобладания симпатической сердечной активности в вегетативном балансе (M) группа с функциональным классом "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" в сравнении с группой с функциональным классом "Эмоциональное возбуждение" имеет более низкий общий вегетативный тонус (SDNN), а также снижение мощности в VLF и LF диапазонах.

Мы представили здесь столь подробный анализ различий между группами, чтобы продемонстрировать, насколько значимо могут отличаться индивидуальные значения показателей ВСР в тревожных ситуациях даже при наличии единых исходных функциональных состояний, и насколько важно учитывать гетерогенность индивидуальных данных при оценке тревожных состояний.

Функциональный класс "Психическое напряжение" также диагностировался нами при моделировании тревожных состояний (см. табл. 20), хотя частота диагностирования в этом случае (6.25%) была значимо ниже, чем в предыдущих исследованиях: 12.13% и 28.57% (см. табл. 12 и табл. 17). Отметим здесь важное отличие различных форм эмоционального возбуждения от психического напряжения. При эмоциональном возбуждении рост показателя b_1 (активности надсегментарных структур головного мозга в регулировании сердечного ритма) сопровождается сохранением повышенного общего тонуса ВНС, 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 функ-

циональных систем для решения возникшей проблемы, на что указывают [Friedman В.Н., Thayer J.F., 1998a, 1998b; Thayer J.F., Friedman В.Н., 1997]. В отечественной психофизиологии эти функциональные состояния относятся к "предрабочим" (или "предстартовым"), которые характеризуются мыслями о предстоящей деятельности и мобилизационной готовностью к ней (активизация ВНС) [Ильин Е.П., 2005]. При психическом напряжении мы имеем дело с состояниями, когда нервные ресурсы организма мобилизованы, и функциональные системы организма оптимизированы для выполнения текущей задачи: общий вегетативный тонус снижен, и все основные ресурсы ЦНС направлены на обеспечение когнитивных функций (активность корковых отделов головного мозга). Уровень психического напряжения в ситуации ожидания ответственного задания может быть настолько высок, что при выполнении тестовых испытаний мы можем не наблюдать его повышения, а в ряде случаев отмечать парадоксальное снижение. Функциональный класс "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности", как показывает анализ показателей ВСП выполненный выше, занимает, в этом контексте, промежуточное значение между функциональными классами "Эмоциональное возбуждение" и "Психическое напряжение".

На сегодняшний день отсутствует единая концепция тревожности, исследователям еще предстоит разработать объективные критерии для дифференциальной диагностики тревоги и страха [Есауленко И.Э. и др., 2001a; Есауленко И.Э. и др., 2001b; Щербатых Ю.В., Ивлева Е.И., 1998]. В монографии [Berntson G.G., Cacioppo J.T., 2002] авторы предположили, что если когнитивно-опосредованные тревожные реакции индивидов имеют зависимость от кортикальных (надсегментарных) структур головного мозга [Berntson G.G. et al, 1998; Lang P.J. et al, 2000; McNaughton N., Gray J.A., 2000; Morris J.S. et al, 1999], 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 управле-

нии сердечным ритмом (низкие значения показателя b_1) отмечаются, согласно нашей классификации, например, в функциональном классе "Норма" и достигают 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 структур головного мозга в регулировании сердечного ритма и различаются общим вегетативным тонусом. Но если эмоциональное возбуждение можно рассматривать как мобилизационную фазу эрготропной деятельности ("вхождение" субъекта в проблемную ситуацию, подготовка, мобилизация – высокий тонус ВНС), то психическое напряжение – как исполнительную фазу эрготропной деятельности ("включенность" субъекта в проблемную ситуацию, готовность действовать - тонус ВНС снижен). Мы предполагаем, что состояния тревожности характеризуются различными формами эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4), а состояния страха – психического напряжения (ФК5) [Машин В.А., 2007b]. В главе 3.2 мы приводили примеры исследований, в которых тревожные состояния характеризовались высокими значениями SDNN (общего вегетативного тонуса) и ростом очень низкочастотных составляющих ритма сердечного ритма (VLF – активность надсегментарных структур головного мозга) [Зациорский В.М., Сарсания С.К., 1968; Машин В.А., Машина М.Н., 2000, 2001; Хаспекова Н.Б., Вейн А.М., 1999; Хаспекова Н.Б., 2003; Lindholm E., Cheatham C.M., 1983; Mashin V.A., Mashina M.N., 2000; Riediker M. et al., 2005]. Исследования, в которых бы анализировались состояния страха с помощью физиологических показателей, практически отсутствуют. В качестве исключения можно привести эксперимент [Inagaki H. et al., 2004], в котором японские ученые специально моделировали в лабораторных условиях состояния тревоги и страха у крыс. Состояние тревоги достигалось предвосхищением (антиципацией) животными начала воздействия стрессора - воздушной струи

(формирование условного стимула). Состояние страха регистрировалось сразу же после окончания стрессора (безусловного стимула). Согласно полученным результатам, моделирование состояния тревоги сопровождалось статистически значимым ростом ЧСС, отношения LF/HF и мощности в LF-диапазоне, без значимого изменения мощности в HF-диапазоне. Моделирование состояния страха характеризовалось статистически значимым ростом ЧСС и снижением мощности в HF-диапазоне, без значимого изменения мощности в LF-диапазоне и слабым ростом отношения LF/HF. К сожалению авторы использовали очень узкий круг показателей ВСП, но представленные результаты позволяют нам отнести смоделированные состояния тревоги (сопровождавшиеся ростом ЧСС и мощности в LF диапазоне) к функциональному классу "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности" (ФК4). При моделировании у крыс состояний страха эти авторы зафиксировали рост ЧСС и снижение HF. Мы предполагаем, что это соответствует функциональному классу "Психическое напряжение". Любопытно, что состояние тревоги достигалось ожиданием ("вхождение" в ситуацию) животными начала воздействия стрессора - воздушной струи (формирование условного стимула), а состояние страха регистрировалось сразу же после окончания стрессора - безусловного стимула (сохранение "включенности" в ситуацию).

В рассмотренных ранее исследованиях [Piccirillo G. et al., 1997; Piccirillo G. et al., 1998] субъекты с выраженной тревожной симптоматикой по шкале Kawachi характеризовались более низкими значениями в покое всех спектральных показателей ВСП (TP, VLF, LF, HF) в сравнении с индивидами без тревожной симптоматики. Согласно нашей классификации такой паттерн показателей ВСП отвечает функциональному классу "Психическое напряжение". И если наше предположение верно, то данная шкала Kawachi оценивает симптоматику не состояния тревоги, а страха. Также мы можем предположить, что понижение общей variability сердечного ритма в покое (показателя SDNN) в исследовании [Kawachi I. et al., 1995] у пациентов с симптомами фобической тревожности объясняется функциональными состояниями класса "Психическое напря-

жение" (страхом), а выраженное нарастание SDNN и VLF в предприсутном периоде у больных с пароксизмальными вегетативными расстройствами (включая панические атаки) - эмоциональным возбуждением невротического характера (тревога). Как мы полагаем, использование трехфакторной модели ВСР при исследовании тревожных состояний может позволить исследователям на первом шаге дифференцировать состояния эмоционального возбуждения и психического напряжения, а на втором – проанализировать их психофизиологические источники.

Возможно, что противоречия в результатах анализа показателей ВСР при различных тревожных расстройствах и фобиях, которые были представлены в начале параграфа, обусловлены различными функциональными классами, характерными для исследуемых индивидов. Существует ли связь между конкретными формами тревожных расстройств и фобий с конкретными функциональными классами трехфакторной модели ВСР, либо в рамках отдельного расстройства и фобии мы можем наблюдать несколько функциональных классов, - ответы на эти вопросы должны дать специальные исследования. В любом случае, функциональные классы трехфакторной модели ВСР позволяют расширить представления исследователей о психофизиологических механизмах данных нарушений и учесть гетерогенность индивидуальной динамики показателей ВСР. Например, результаты нашего исследования не согласуются с данными эксперимента A.Jr. Stancak и его коллег [1987], в котором у здоровых молодых мужчин анализировалась динамика показателей ВСР в покое и в ситуации ожидания предъявления стимульного материала, создающих эмоциональное отвращение. Исследователями не было обнаружено статистически значимых изменений ни в общей ВСР, ни в спектральных показателях сердечного ритма. Мы полагаем, что это является либо результатом неверно спланированного эксперимента, в котором выбранный стимульный материал не породил в ситуации антиципации требуемых эмоциональных переживаний, либо, и это более вероятная причина, анализ показателей ВСР был вы-

полнен без учета индивидуальной динамики функциональных классов (оценка средних по группе).

Как было отмечено нами ранее, для стадии восстановления, как и стадии антиципации, характерен значительный рост различных форм эмоционального возбуждения (см. табл. 20, ФК3 и ФК4). Возникает закономерный вопрос, чем обусловлена эта динамика на стадии, когда выполнение ответственных заданий уже завершено. Для ответа на него обратимся к исследованиям, в которых изучались постстрессовые размышления, переживания (так называемая "руминация" - "умственная жвачка") [Vitaliano P.P. et al., 1995; Schwartz A.R. et al., 2003; Zefferino R. et al., 2003]. В них доказывается, что постстрессовые размышления могут служить негативным фактором для развития депрессий [Nolen-Hoeksema S. et al., 1999; Roberts J.E. et al., 1998], посттравматических стрессовых нарушений [Ehlers A. et al., 1998], сердечно-сосудистых заболеваний [Earle T.E. et al., 1999], для сохранения длительное время гнева и раздражения, спровоцированных стрессовой ситуацией [Rusting C.L. et al., 1998]. В исследованиях [Glynn L.M. et al., 2002; Vitaliano P.P. et al., 1995] было установлено, что восстановление после эмоционального стрессора занимает более длительный период, чем после неэмоционального, даже когда величина сердечно-сосудистой реактивности для стрессоров идентична. Это подтверждает мысль, что когнитивные или эмоциональные реакции, вызванные после стрессора, сохраняют очень длительное время сердечно-сосудистую активность. Рассмотрим исследования, в которых анализировались изменения в показателях ВСР после окончания воздействия эмоциональных нагрузок.

В исследовании [Kamada T. et al., 1992a] у обследуемых с поведением по типу "А" [Friedman M., Rosenman R.H., 1974] после выполнения арифметического теста наблюдался выраженный рост отношения LF/HF. Данная динамика не присутствовала в группе участников с поведением по типу "Б". В эксперименте [Sakuragi S., Sugiyama Y., 2004] лица с высокими баллами по шкале ипохондрии (Hs) теста MMPI демонстрировали на стадии восстановления после выполнения задачи более выраженное преобладание симпатической сердечной

активности (повышение показателя LF и снижение HF), чем лица с низкими баллами по этой шкале. Согласно авторам, это указывает на сохранение длительное время состояния напряжения после окончания задачи. Для лиц с высокими баллами по ипохондрии также были характерны более низкие оценки фронтального альфа-латерального отношения (альфа-десинхронизация с преимущественным доминированием правой фронтальной коры – кортикальная активность) на всех стадиях выполнения задачи (включая до и после). Лица с высокими баллами по шкале психастении (Pt) теста MMPI характеризовались преимущественным преобладанием парасимпатической сердечной активности после выполнения задачи (во время выполнения преобладала симпатическая сердечная активность). Рост парасимпатической активности у лиц с высокими баллами по психастении после выполнения задачи сопровождался и ростом оценок фронтального альфа-латерального отношения (снижением кортикальной активности).

В красиво выполненном эксперименте [Glynn L.M. et al., 2002] одной группе участников после выполнения арифметического теста предлагалось расслабиться и спокойно сидеть в течение 10 минут, другая группа после теста заполняла в течение 10 минут нейтральный опросник (отвлекающая задача). Оказалось, что в первой группе (которые вольно или невольно была погружена в размышления и переживания по поводу выполненной задачи) к концу восстановительного периода артериальное давление так и осталось значимо выше исходного (в спокойном состоянии). Во второй же группе (с отвлекающей задачей, когда вместо размышлений испытуемые должны были заполнять опросник) уже к концу второй минуты артериальное давление приблизилось к исходному. Схожая динамика была получена в эксперименте [Schwartz A.R. et al., 2000], в котором исследовался эффект размышлений после воспоминаний события, которое провоцировало гнев и раздражение. Результаты описанных 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 и мож-

но объяснить значительный рост различных форм эмоционального возбуждения на второй стадии нашего эксперимента. Здесь мы должны отметить любопытную динамику функциональных состояний на первой и второй стадии нашего эксперимента. Если для одних на стадии антиципации диагностировались различные формы эмоционального возбуждения, а на стадии восстановления функциональный класс "Норма", то для других наблюдалась противоположная картина. Возможно, причина такой динамики кроется в различном уровне активации у обследуемых кортикально-когнитивных процессов до и после теста. Если для первых характерна высокая активация надсегментарных структур на стадии антиципации и снижение ее при восстановлении, то для вторых нормальная активация надсегментарных структур в ситуации ожидания сопровождается значительным ее ростом после выполнения.

Таблица 23.

Частота повышения по шкалам ММРІ, отражающим различные формы тревожности, для функциональных классов (ФК), диагностированных на различных стадиях эксперимента [Машин В.А., 2007d].

ФК	Перед тестом			После теста		
	Hs	D	Pt	Hs	D	Pt
ФК1	0	0	0	1	0	1
ФК3	3	4	4	2	4	3
ФК4	1	1	0	1	2	0
ФК5	0	1	0	0	0	0

Интересные результаты предоставил нам анализ данных по тесту ММРІ. В табл. 23 представлена частота повышения по шкалам ММРІ ($T \geq 70$), отражающим различные формы тревожности, для функциональных классов, диагностированных на различных стадиях исследования. На стадиях антиципации и восстановления повышение по шкалам ММРІ соответствовало, главным обра-

зом, различным формам эмоционального возбуждения: соответственно, ФК3 = 78.57%, ФК4 = 14.29% и ФК3 = 64.29%, ФК4 = 21.43%. Анализируя полученные результаты, мы можем сделать 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).

Сформулируем основные выводы заключительного исследования. Данное экспериментальное исследование подтвердило наше предположение, что при моделировании тревожных ситуаций в функциональных состояниях человека преобладают различные формы эмоционального возбуждения ("Эмоциональное возбуждение", "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности"). Рост доли различных форм эмоционального возбуждения на стадии антиципации можно объяснить когнитивно-опосредованными тревожными реакциями ожидания ответственных заданий и активностью надсегментарных структур головного мозга. Во время восстановления такая динамика функциональных состояний обусловлена влиянием постстрессовых размышлений (переживаний), когда кортикально-когнитивные процессы порождают тревожные реакции, вызывая различные формы эмоционального возбуждения [Verntson G.G., Сасіорро J.Т., 2004].

Кроме диагностирования различных форм эмоционального возбуждения ("Эмоциональное возбуждение", "Эмоциональное возбуждение с преобладанием симпатической активности"), в ситуации тревожного ожидания мы вновь, как и в предыдущих экспериментах зафиксировали функциональный класс "Психическое напряжение". Все три функциональные классы характеризуются преобладанием активности надсегментарных структур головного мозга в регулировании сердечного ритма и различаются общим вегетативным тонусом. Но если эмоциональное возбуждение можно рассматривать как "вхождение" субъекта в проблемную ситуацию, то психическое напряжение - как "включенность" субъекта в проблемную ситуацию. Мы предполагаем, что состояния тревожно-

сти характеризуются различными формами эмоционального возбуждения (ФК3 и ФК4), а состояния страха – психического напряжения (ФК5). Данное предположение требует дополнительных исследований.

Данные нашего исследования позволяют предположить, что противоречия в результатах анализа показателей ВСП при различных тревожных расстройствах и фобиях, которые были представлены в начале параграфа, могут быть обусловлены различными функциональными классами, характерными для исследуемых индивидов. Требуются специальные исследования, чтобы понять, существует ли связь между конкретными формами тревожных расстройств и фобий с конкретными функциональными классами трехфакторной модели ВСП.

Анализ данных ММРІ позволил сделать вывод, что результаты личностного опросника хорошо согласуются с трехфакторной моделью ВСП на стадиях антиципации (размышлений и переживаний до воздействия эмоциональных нагрузок) и восстановления (размышлений и переживаний после воздействия эмоциональных нагрузок). На этих стадиях повышение по шкалам ММРІ, отражающим различные формы тревожности, соответствовало, главным образом, различным формам эмоционального возбуждения. (В Приложении 15 описаны примеры связи функциональных классов, диагностированных на основе трехфакторной модели ВСП, с результатами психологических обследований персонала АЭС, включая данные по тесту ММРІ.)

В целом можно сделать вывод, что изменение показателей ВСП при тревожных состояниях представляет собой более сложную картину, чем это принято считать. Согласно трехфакторной модели ВСП мы можем наблюдать в состоянии антиципации (тревожного ожидания) и при восстановлении (постстрессовые переживания) сложную динамику функциональных состояний даже в достаточно однородной группе здоровых обследуемых, у которых на исходной стадии диагностировался общий класс функциональных состояний. Мы полагаем, что использование трехфакторной методологии в изучении показателей ВСП может стать эффективным инструментом в изучении как клинических, так и неклинических форм тревожности.

Таким образом, в заключительной главе нами были представлены результаты экспериментальных исследований, в которых мы попытались обосновать эффективность и научную ценность классификации функциональных состояний на основе трехфакторной модели ВСП. Для этих целей мы использовали задачи, которые представляют большой интерес, как для исследователей, так и практиков: прогнозирование эмоциональной устойчивости, психофизиологическая оценка психических нагрузок и тревожных состояний.