

## Физиологический мониторинг операторов АСУ при аудио-визуальной имитации аварийной ситуации

С.С. Алексанин, А.А. Богданов, Е.С. Загаров

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины  
им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург

*В условиях тренажера судовых автоматизированных систем управления выполнены исследования информативности физиологического мониторинга кардиоритма для оценки надежности и помехоустойчивости операторов различных специализаций при аудио-визуальной имитации аварийной ситуации. Параллельно изучалась эффективность средств защиты от негативного воздействия электромагнитного поля. Мониторинг кардиоритма в условиях виртуальной аварии позволил дифференцировать степень напряжения систем регуляции функций организма операторов по специализации и констатировать положительный эффект от применения средств защиты от воздействия электромагнитного поля.*

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, авария, оператор, тренажерная подготовка, кардиоритм.

### Введение

При возникновении чрезвычайных ситуаций на современных технических системах в качестве первого эшелона ликвидаторов допустимо расценивать персонал, осуществляющий их повседневную эксплуатацию. Профессионализм и самообладание операторов автоматизированных систем управления (АСУ) во многом, если не в полной мере, определяют масштабы чрезвычайной ситуации и ее последствий. Необходимые действия по локализации чрезвычайной ситуации должны быть выполнены персоналом даже при угрозе значительного ущерба собственному здоровью или летального исхода.

В профессиональной гигиене, физиологии и психологии способность оператора сохранять заданную эффективность работы при усложнении окружающей обстановки определяется как надежность. При оценке надежности, в частности, учитываются [1]: устойчивость к воздействию факторов внешней среды (температуры, влажности, шума и т. п.); работоспособность в экстремальных условиях (способность принимать правильные решения в аварийных ситуациях и пр.); помехоустойчивость (работоспособность оператора в условиях шумов, посторонней речи, движения посторонних предметов в поле зрения и др).

Основным методом повышения надежности оператора АСУ является тренажерная подготовка. Однако на современных тренажерах аварийной ситуацией считается имитация выхода из строя управляемых систем, а задачей оператора – управляющие действия по ликвидации технических неполадок. Моделированию внешних условий, характерных для аварий различных типов, уделяется значительно меньшее внимание [2]. Оценка надежности оператора в ходе тренажерной подготовки при виртуальной аварии может способствовать выявлению лиц, склонных к неадекватным реакциям, что позволит своевременно принять превентивные меры по повышению их устойчивости к воздействию помех – физических и психологических факторов аварии.

Основным физическим фактором, воздействующим на оператора АСУ, является электромагнитное поле (ЭМП) в широком частотном диапазоне, как правило, сложно модулированное. Энергетические параметры поля не всегда обеспечиваются в пределах гигиенических регламентов, установ-

ленных нормативными документами [3]. Кроме того, не все компоненты поля нормированы в частотной области, а исследования структуры поля относятся к области фундаментальной науки и далеки от реализации в прикладных отраслях, в том числе в профессиональной гигиене. В то же время в России и за рубежом проходят апробацию устройства для демпфирования воздействия ЭМП на оператора систем управления. Оценка эффективности этих устройств представляется актуальной прикладной задачей, поскольку позволяет уменьшить риск от воздействия ЭМП [4]. Теоретические аспекты этих исследований также не лишены актуальности, поскольку научно обоснованной теории физических и физиологических механизмов действия устройств защиты от ЭМП в настоящее время не существует.

Мониторинг функций организма оператора в процессе тренажерной подготовки является общепризнанным методом, позволяющим вынести обоснованное заключение о степени напряжения систем регуляции при выполнении профессиональных действий [5]. Однако даже в условиях тренажера существуют значительные ограничения в выборе методик мониторинга. Наиболее распространена методика оценки вариабельности сердечного ритма ввиду ее технической доступности и минимальных помех для основной деятельности оператора [6]. К сожалению, понимание физиологической сущности сердечного ритма отстает от возможностей современных компьютерных технологий и требует дальнейшего углубленного изучения [7, 8].

### Цель исследования

Изучение информативности физиологического мониторинга кардиоритма для оценки надежности и помехоустойчивости операторов судовых АСУ в условиях тренажера при аудио-визуальной имитации аварийной ситуации, а также для оценки эффективности устройств защиты от ЭМП.

### Материалы и методы

Для моделирования в условиях тренажера избрана наиболее распространенная авария на техническом объекте – пожар. Имитация химических факторов пожара (продукты горения, оксид углерода и т.п.) и высоких температур осуществлялись вследствие высокого риска поражений испы-

туемых и разрушения тренажера. Отобраны акустический и оптический факторы пожара как возможные для реализации в изолированном помещении, но в то же время обеспечивающие определенную энергетическую (уровни звука до 90 дБС, или 0,63 Па) и информационную нагрузку.

Звуковой ряд строили по типовой схеме развития пожара на техническом объекте: серия взрывов – шум пожара – новая серия взрывов – звуки, характерные для последствий разрыва магистралей воздуха высокого давления – скрежет разрушающихся металлических конструкций – крики и стоны пораженных. Воспроизведение обеспечивали мощной акустической системой. При этом энергия акустического воздействия нарастала от 75 до 90 дБС (0,11–0,63 Па). Оптические эффекты моделировали системой светодиодных стробов красного, желтого и синего цветов с частотой проблесков 1 Гц, работающих в асинхронном режиме.

Исследования проводили при обязательном условии информированного согласия испытуемых. К исследованиям допускались лица, прошедшие официальное медицинское освидетельствование и признанные здоровыми. Сформированы 3 группы (по 12 человек каждая) испытуемых-добровольцев. Группы различали по специализации операторской деятельности:

– 1-я – рулевые – выполняли задачу, требующую значительной концентрации внимания. Деятельность за пультом управления техническими средствами характеризуется как сенсомоторная;

– 2-я – операторы – работали за пультом управления техническими средствами, выполняя действия по команде координатора;

– 3-я – координаторы – осуществляли координацию деятельности рулевых и операторов, являясь связующим звеном между ними и руководителем тренировки.

Половина испытуемых 1-й профессиональной группы пользовались устройствами защиты от электромагнитных излучений [4]. Обследуемым операторам сообщали, что во время аварии может наблюдаться выраженное ЭМП, поэтому при аварии они должны будут воспользоваться средствами защиты от ЭМП.

До начала исследований испытуемые прошли курс подготовительных тренировок в естественных (повседневных) условиях. Затем испытуемые выполняли тренировочные задания в условиях оптического и акустического воздействия, имитирующего аварийную ситуацию. До начала воздействия в течение 10 мин испытуемые работали в естественных условиях, а в течение последующих 5 мин имитировалась аварийная ситуация. При этом испытуемые должны были совершать типовые действия (как в повседневных условиях), игнорируя внешние воздействия. Через 30 с после начала акустического воздействия в помещении отключали освещение и включали оптическую систему.

Вариабельность сердечного ритма (ВСР) определяли аппаратно-программным комплексом «Стелла-2(01)». В процессе тренировки испытуемым проводили мониторинг электрокардиограммы по Холтеру (аппаратно-программный комплекс «Кардиотехника-04-3») с последующей качественной оценкой ЭКГ и расчетом показателей ВСР поминутно за каждую из 5 мин, предшествующих началу «аварии», и за период «аварии», продолжительность также 5 мин. Кроме того, изучили показатели ВСР за весь 5-минутный интервал в целом по той же схеме.

## Результаты и обсуждение

Средние значения фоновых показателей у обследованных лиц в выделенных группах достоверно не различались и соответствовали возрастной норме, что подтвердило однородность групп испытуемых по физиологическим параметрам. В последующих обследованиях существенной динамики этих показателей в группах не отмечали, что свидетельствует о преходящем характере физиологических реакций, отмеченных в процессе деятельности. По данным холтеровского мониторирования ЭКГ, грубых аритмий и аномалий структуры кардиокомплексов не выявлено.

Сопоставлены средние показатели ВСР в группах. Установлено, что средняя величина RR-интервалов существенно различается. При этом в 1-й и 2-й группах этот показатель был ниже, чем в 3-й группе, как при тренировке в стандартных условиях, так и при «аварии» (рис. 1).

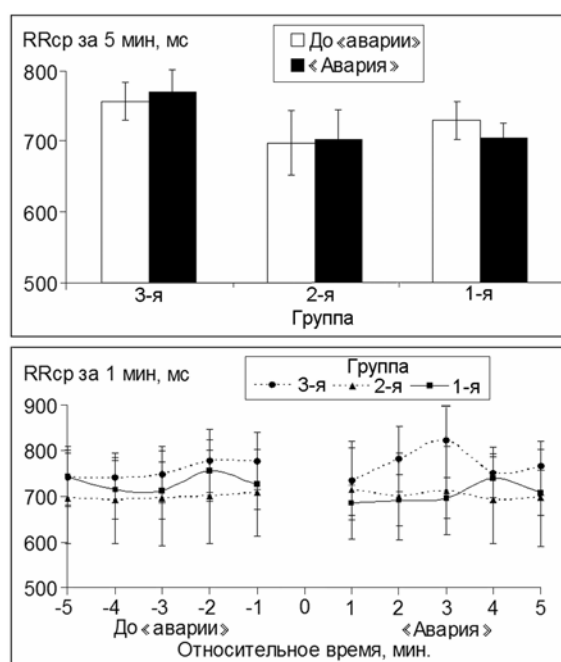


Рис. 1. Средние величины RR-интервалов в группах за 5 мин (сверху) и поминутно (снизу)

Поскольку величина RR-интервалов обратно пропорциональна частоте сердечных сокращений (ЧСС), то в 1-й и 2-й группах показатель ЧСС был выше, чем в 3-й группе. Однако существенных различий этого показателя внутри выделенных профессиональных групп при работе в стандартных условиях и при «аварии» не выявлено.

Проведен анализ показателя собственной вариабельности сердечного ритма (SDNN). При тренировке в стандартных условиях величина SDNN в 1-й группе была ниже, чем во 2-й и 3-й группе (рис. 2). При имитации аварии группы также отчетливо дифференцируются по показателю SDNN: так, в 3-й группе этот показатель оказался самым высоким, во 2-й группе он был несколько ниже, а в 1-й группе – самым низким. Показатель SDNN характеризует степень напряжения механизмов регуляции: чем ниже SDNN,

тем выше напряжение. Следовательно, операторы 1-й группы испытывают наибольшее напряжение систем регуляции сердечного ритма, 2-й группы – несколько меньшее, 3-й группы – еще меньшее.

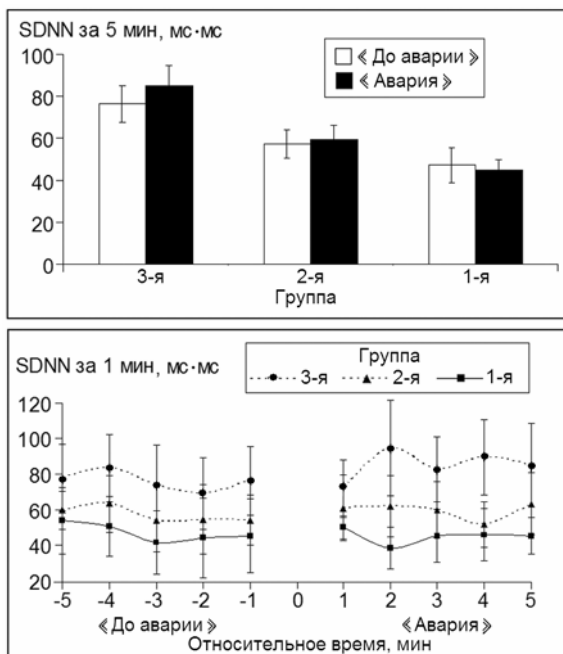


Рис. 2. Средние величины SDNN в группах за 5 мин (сверху) и поминутно (снизу)

Для изучения эффекта от применения защиты от ЭМП были избраны испытуемые-добровольцы 1-й группы. Как было показано ранее, операторы этой профессиональной группы отличались наибольшим напряжением систем регуляции функций организма в процессе тренировки.

Различий средних величин кардиоинтервалов (RR-интервалов) между подгруппами с защитой (1А-я) и без защиты от ЭМП (1Б-я) не отмечено. Показатели ЧСС (величина, обратная длительности интервалов) составляли 1Б-й группе до «аварии»  $83 \pm 3$  уд./мин, во время «аварии» –  $86 \pm 3$  уд./мин; в 1А-й группе  $84 \pm 3$  и  $86 \pm 3$  уд./мин соответственно. Эти данные свидетельствуют о естественном незначительном напряжении центральных механизмов регуляции функций сердечно-сосудистой системы у операторов обеих подгрупп (без защиты и с защитой), как при тренировке в повседневных условиях, так и при имитации аварийной ситуации.

В то же время по variability сердечного ритма (SDNN) выявлены существенные межгрупповые различия (рис. 3). При анализе данных, обобщенных за 5 мин до «аварии» и за 5 мин во время «аварии», наблюдается отчетливое статистически значимое различие: в 1А-й подгруппе этот показатель был выше, как до воздействия, так и в процессе имитации аварийной ситуации. Следовательно, лица 1А-й подгруппы (с защитой от ЭМП) испытывали меньшее напряжение в автономном контуре регуляции сердечного ритма, чем испытуемые 1Б-й подгруппы.

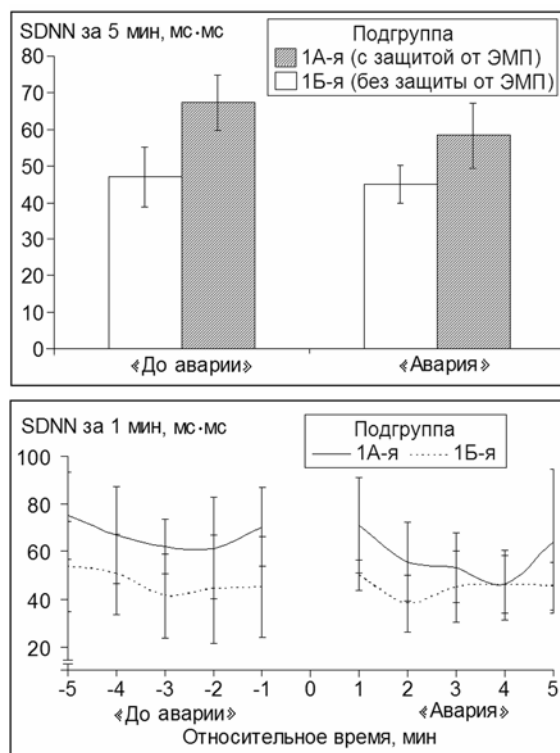


Рис. 3. Средние величины SDNN в 1-й группе за 5 мин (сверху) и поминутно (снизу)

При сопоставлении поминутных срезов различия проявляются, но не достигают стандартного уровня статистической значимости. В отдельных точках вероятность межгрупповых различий достигает 0,9. На 4-й минуте воздействия, соответствующей максимальной стрессорной нагрузке, средние значения SDNN в обеих группах идентичны.

Из общего числа испытуемых 6 операторов допустили ошибки, которые, по заключению руководителя тренировки, привели к усугублению аварии. Дополнительно проанализированы кардиоритмограммы операторов, не справившихся с заданием. Среди них у 4 операторов отмечены более высокие в сравнении с остальными величины RR-интервалов, а также показателей SDNN, что свидетельствует о низком напряжении систем регуляции. Эти испытуемые недостаточно ответственно отнеслись к выполнению задания. У 2 испытуемых, допустивших ошибки, в период «аварии» руководителем отмечена растерянность и крайняя неуверенность в действиях. Кардиоритмограммы этих испытуемых при максимальной интенсивности аудиовизуального воздействия принимали пилообразную форму. Изучение этого признака может составить предмет дальнейших исследований, так как отражает чрезмерную психическую напряженность с явлениями функциональной психосоматической дезинтеграции и нарушением профессиональной работоспособности.

### Заключение

Резюмируя полученные результаты, следует отметить, что стресс-воздействие, имитирующее аварийную ситуацию, обусловило дополнительное напряжение сис-

тем регуляции функций организма в первую очередь в вегетативном (автономном) контуре. Центральные механизмы регуляции вовлекались в минимальном объеме. Отмеченное напряжение регистрировалось исключительно в процессе тренировки, в том числе со стрессорным воздействием. По окончании воздействия физиологическое напряжение исчезало в течение 2–5 мин (время до начала обследования после тренировки).

Эффективность защиты от ЭМП в отношении оптимизации реакций организма на стресс-воздействие проявилась в группе испытуемых с наибольшей операторской нагрузкой. При меньших нагрузках у здоровых молодых людей собственные системы регуляции функций обеспечивали необходимый уровень адаптации организма к стрессу, а также быстрое восстановление после воздействия стресс-фактора. Наиболее выражен защитный эффект при напряженной работе в повседневных условиях. Эффект сохраняется в начальной фазе стрессорного воздействия («аварии»), однако по достижении стресс-фактором максимальной интенсивности отчетливо не проявляется.

Таким образом, мониторинг кардиоритма в условиях виртуальной аварии позволил дифференцировать степень напряжения систем регуляции функций организма операторов по специализации и констатировать положительный эффект от применения средств защиты от воздействия ЭМП.

## Литература

1. Горбов, Ф.Д. О «помехоустойчивости» оператора / Ф.Д. Горбов // Инженерная психология. – М.: Изд-во МГУ, 1964. – С. 340–357.
2. Зотов, М.В. Новый психофизиологический метод оценки уровня стрессоустойчивости / Зотов М.В., Петрукович В.М. // Актуальные проблемы психофизиологического сопровождения учебного процесса в военно-учебных заведениях: материалы науч.-практ. конф. – СПб., 2002. – С. 44–48.
3. Григорьев, Ю.Г. Электромагнитная безопасность человека: справ.-информ. изд. / Ю.Г. Григорьев [и др.]. – М.: Рос. нац. ком. по защите от неионизирующего излучения, 1999. – 149 с.
4. Денисов, С.Г. Электромагнитная опасность и защита человека / С.Г. Денисов [и др.]; под ред. А.Ф. Зубарева. – 5-изд. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 112 с.
5. Багрецов, С.А. Диагностика и прогнозирование функциональных состояний операторов в деятельности. Вопросы проектирования и применения / С.А. Багрецов, С.К. Колганов, В.М. Львов. – М.: Радио и связь, 2000. – 192 с.
6. Баевский, Р.М. Физиологические измерения в космосе и проблемы их автоматизации. / Р.М. Баевский. – М.: Наука, 1970. – 30 с.
7. Дикая, Л.Г. Деятельность и функциональное состояние: активационный компонент деятельности / Л.Г. Дикая // Психологические проблемы профессиональной деятельности. – М.: Наука, 1991. – С. 93–110.
8. Ушаков, И.Б. Методологические подходы к диагностике и оптимизации функционального состояния специалистов операторского профиля / И.Б. Ушаков [и др.]. – М.: Медицина, 2004. – 134 с.

S.S. Aleksanin, A.A. Bogdanov, E.S. Zagarov

### Physiological monitoring of operators ACS in audio-visual simulation of an emergency

The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg

*Abstract. In terms of ship simulator automated control systems we have investigated the information content of physiological monitoring cardiac rhythm to assess the reliability and noise immunity of operators of various specializations with audio-visual simulation of an emergency. In parallel, studied the effectiveness of protection against the adverse effects of electromagnetic fields. Monitoring of cardiac rhythm in a virtual crash it is possible to differentiate the degree of voltage regulation systems of body functions of operators on specialization and note the positive effect of the use of means of protection from exposure of electromagnetic fields.*

Key words: *emergency, accident, operator, simulator training, cardiorythm.*

Поступила 15.09.2010 г.

А.А. Богданов  
тел. 8-921-637-89-04,  
e-mail: opton@list.ru