

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ НАДЕЖНОСТИ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Кальниш В.В.

ГУ «Институт медицины труда АМН Украины», г. Киев

Проведен обзор современной литературы, посвященной различным аспектам формирования надежности операторской деятельности, включая воздействия трудовой среды, функционального состояния, напряженности труда. Рассмотрены некоторые физиологические механизмы, позволяющие организму адекватно реагировать в процессе работы. Предложена классификация факторов, влияющих на качество выполнения работы.

**Ключевые слова:** операторская деятельность, надежность, функциональное состояние, психофизиологические индикаторы надежности деятельности

Многогранная проблема изучения надежности операторской деятельности в настоящее время становится все более актуальной. Это связано со многими причинами, основными из которых являются: коренное изменение операторского труда в условиях появления новой техники, технологий и приемов управления разнообразными процессами в промышленности, военном деле, на транспорте, большая экономическая, экологическая и социальная стоимость ошибки оператора, управляющего мощным и скоростным оборудованием, многократное повышение нагрузки на оператора, использующего старое, изношенное оборудование, которое затруднительно модернизировать в сложных социально-экономических условиях современности.

В настоящее время становится ясным, что скорейшее приближение к полному решению всей этой сложнейшей проблемы в обозримое время возможно лишь при концентрации усилий многих ученых, изучающих механизмы обеспечения трудовой деятельности человека. Поэтому целью данного обзора литературы является не только подведение промежуточного итога, но и стимуляция дальнейших исследований в области психофизиологии надежности деятельности человека.

### Роль функционального состояния и характера деятельности в формировании высокого уровня надежности выполнения заданий оператором

Изучение надежности деятельности возможно при применении различных, встречающихся в реальной операторской деятельности, моделей. Одной из таких моделей является надежность работы с дополнительной задачей без уменьшения эффективности выполнения основной задачи. Подобную модель использовали в своей работе [50], предполагая, что

психофизиологический резерв организма адекватно отражает функциональное состояние летчика при работе на тренажере. Результаты исследования, проведенного на 63 здоровых и 13 госпитализированных испытуемых, были отражены с помощью объективных инструментальных и экспертных оценок. Причем семь здоровых и два больных испытуемых принимали участие в исследовании при экспериментальном лишении сна. Показано, что имеется положительная связь величины психофизиологического резерва организма с гибкостью реагирования и точностью полета в условиях неопределенности ( $r = 0,27-0,40$ ,  $p < 0,05$ ). Отрицательная связь этой характеристики обнаружена со степенью эмоционального напряжения в процессе полета ( $r = -0,40$ ,  $p < 0,05$ ). Уровни связи этих показателей у здоровых испытуемых были значительно выше, чем у больных. Восемичасовое недосыпание также сказывалось на выраженности корреляций. Если в нормальном состоянии уровень связей с психофизиологическим резервом был высоким, то в случае недосыпания он существенно снижался. Авторы указывают, что психофизиологические резервы тесно связаны с полетными способностями и надежностью профессиональной деятельности и предлагают использовать этот параметр для прогнозирования степени умственной нагрузки в авиации.

Прерывания на исполнение другой деятельности ведут к увеличению времени обработки текущей задачи, изменению стратегии управления объектом [21]. Лабораторные исследования выполнения таких заданий показали, что имеется достоверное увеличение показателя средней погрешности деятельности в самом начале обработки фоновой задачи.

Также описаны исследования деятельности, включающей две задачи: в одном случае однородные задачи повторялись определенным образом

(детерминированный процесс смены типа задач), в другом — предстоящий тип задачи был непредсказуем (случайный процесс смены типа задач) [26]. Авторы считают, что в случае с прогнозируемым предъявлением типов задач объективно действует физиологический процесс предварительной подготовки организма к наступающему переключению и появлению новой задачи, что не наблюдается в случае со случайной сменой задач.

Другой достаточно популярной моделью напряженной работы является работа в условиях дефицита времени. Например, в работе J. Wahlström и соавторов [47] изучалось влияние дефицита времени и словесных провокаций (модель напряженного труда) на физиологические и психологические реакции операторов, работающих с компьютерной мышью. Установлено, что высокая напряженность труда (по сравнению с обычной ситуацией) приводила к проявлению повышенных физиологических и психологических реакций организма: повышалось артериальное давление, электрическая активность работающих мышц, увеличивались усилия при нажатии кнопки мыши.

В случае простой повторяющейся работы также имеется существенное влияние дефицита времени [49]. В такой ситуации было установлено, что имеются существенные индивидуальные различия при работе в разных условиях. Отрицательные эффекты дефицита времени были незначительными при небольшом дефиците времени. Информативным физиологическим показателем уровня концентрации внимания в этих условиях была мощность  $\theta$ -волны ЭЭГ, зарегистрированной с фронтальной срединной линии.

В другом исследовании моделирование интенсивной умственной нагрузки производилось на примере отслеживания с помощью компьютерной мыши, когда качество работы оператора характеризовалось показателями точности и темпа выполнения задания [46]. Было установлено, что требования точного выполнения задания в значительной степени повышало умственную нагрузку. В свою очередь повышение интеллектуальной нагрузки негативно сказывалось на темпе работы. Электрическая активность работающих на выполнение задания мышц существенно повышалась при росте прецизионных требований и увеличении умственной нагрузки. Однако в современной литературе имеются сведения противоположного характера. Так в работе W. Liu и соавторов [31], изучавших влияние интенсивности нагрузки на качество выполнения задания установлено отсутствие достоверной связи между этими параметрами.

## **Влияние рабочего напряжения на надежность деятельности**

Многие факторы деятельности влияют на надежность ее исполнения. Уточнить эти воздействия, оценить не только качественную, но и количественную их сторону позволяют разнообразные приемы исследований. Особый интерес в этом плане представляют работы, проведенные с использованием приемов, изменяющих требования к качеству обрабатываемых оператором задач и степеням свободы при принятии им ответственных решений.

В исследованиях J. Hutt и G. Weidner [27] специальное внимание было уделено эффектам влияния дефицита времени и возможности свободного выбора при решении задачи на сердечно-сосудистую систему испытуемых. Установлено, что дефицит времени обуславливает повышение систолического артериального давления у мужчин и женщин. Уменьшение свободы в выборе задачи также пагубно сказывается на артериальном давлении в этих группах. Полученные сведения помогли обнаружить наличие четкого негативного воздействия напряженной работы, связанной с дефицитом времени и ограничением свободы выбора, на состояние сердечно-сосудистой системы.

Трудно по существу возразить против утвердившегося в литературе мнения, что напряжение физиологических процессов влияет на надежность операторской деятельности при управлении автоматизированными системами. Здесь требования работы и свобода действий играют важную роль в направленной модификации процессов в организме. В статье R. Rau [39] описывается, что операторы электроэнергетической сети реализовывали задания на компьютерах, имитирующих три типичных задачи, выполняемые работниками этой профессии. Параллельно, посредством карманного компьютера, они имели возможность отвечать на ряд вопросов, касающихся оценки их субъективного напряжения, мотивации, успешности своей деятельности. Показано, что увеличение нервного напряжения связано с ростом требований к работе и расширением свободы принятия решений. По мнению автора, человеческая надежность не может быть повышена посредством увеличения степеней свободы при выработке решений, а может быть повышена посредством грамотного внешнего руководства, осуществляемого над целой группой работников. Этот же автор [40], развивая разрабатываемую тему, на обширном статистическом материале показал, что в группах с разным уровнем напряжения субъектив-

ное его ощущение значимо не отличается, хотя систолическое и диастолическое давление у лиц в группе с высоким напряжением достоверно выше.

Особенно убедительно и демонстративно роль высокого рабочего напряжения при компьютерной нагрузке показана в работе [24]. В исследовании постоянно регистрировали ЭКГ, в начале и конце работы проводили опрос об уровне испытываемого напряжения. Вычисляли вариабельность сердечного ритма и его спектр. В динамике работы субъективно оцениваемое напряжение существенно не изменялось, однако объективные параметры изменялись заметно, особенно диастолическое артериальное давление и структура спектра сердечного ритма. Вариабельность сердечного ритма также была чувствительна к умственному напряжению и свидетельствовала о централизации управления сердечной деятельностью. Авторы пришли к выводу, что восьмиминутный перерыв восстанавливал исходный уровень артериального давления.

Важные аспекты влияния мотивации и эмоций на «ошибочность» деятельности оператора рассмотрены в работе Н.Д. Сорокиной и соавторов [8]. Исследователи считают, что результат деятельности оператора зависит от иерархической структуры организации его мотивационной сферы. Причем эмоциональное напряжение, порожденное основным мотивом, может приводить к неудачам в работе. В ситуации конфликта мотивов важную роль играет уровень тревожности работников.

Напряженная работа, служебный статус специалиста и его семейное положение также ощутимо влияют на функциональное состояние работников, особенно на тех, которые имеют даже небольшие отклонения артериального давления [11]. Интересно, что умственное напряжение на работе сопровождается более высоким уровнем систолического артериального давления, чем в домашних условиях. Такой эффект заметнее у мужчин с более высоким служебным статусом. Для женщин определенное значение имеет их семейное положение: у замужних женщин по сравнению с незамужними наблюдался более высокий уровень артериального давления. Умственная нагрузка повышала систолическое давление у женатых индивидуумов, по сравнению с неженатыми.

Ухудшение функционального состояния работника, повышение напряжения систем его организма также связано с типом решаемых задач, в частности, задач, характеризующихся высокими требованиями и внезапным, неконтролируемым появлением [42]. Установлено, что в группе с более высоким

напряжением деятельности снижение «послерабочего» артериального давления происходило медленнее, чем в группе с низким напряжением. Реакции артериального давления на появление внезапно возникающих заданий, как и предполагали авторы, были большими в группе с высоким напряжением.

На большой группе работников [29] изучалось воздействие напряженности труда (которая была классифицирована в соответствии с широко известной моделью R.Karasek [30] на четыре категории: группа с высоким напряжением, «активная» группа, «пассивная» группа и группа с низким напряжением) на риск появления у них сердечно-сосудистых заболеваний. Авторы указывают, что напряжение на работе, обусловленное высокими требованиями и большим количеством степеней свободы при принятии решений, тесно связано с повышением систолического артериального давления, риском появления сердечно-сосудистых заболеваний.

Аналогичная модель развития напряжения (R.Karasek) была взята за основу при изучении появления ошибочных действий на работе [13]. Показано, что ошибочные действия встречались у 27,8 % из 2889 участников исследования. Результаты исследования указывают на наличие достоверной связи между напряжением на работе и интенсивностью появления ошибочных действий. Причем поддержка коллег по работе значительно снижает процент таких действий.

Модель напряжения R.Karasek также помогает выявить связь рабочей нагрузки с генезисом гипертонии [17]. Предложенные авторами подходы к анализу полученных на 926 испытуемых данных обнаружили наличие значимой связи между напряжением на работе и артериальным давлением преимущественно у мужчин с ранее выявленной гипертонией.

### **Влияние внешних факторов на надежность операторской деятельности**

Проблема действия внешних факторов на надежность деятельности интенсивно исследуется в гигиене труда. Одним из таких факторов является организационный фактор и, как его важнейший аспект, фактор режима труда и отдыха, затрагивающий не только рабочие графики, но и качество отдыха после работы, в частности, качество и количество сна. В литературе четко установлено, что организация деятельности определенным образом влияет на появление ошибок [25]. Этот фактор сказывается не только на систематичности появления ошибок, но и на последующем их обнаружении

и учете. Важно подчеркнуть, что увеличение существенной неточности действий также проявляется при неадекватной нагрузке на мышцы в процессе осуществления посадок самолета на авиационном тренажере [23].

Комбинированное влияние работы в дневной и ночной смене и шума 50 или 80 дБ на организм 24 испытуемых изучался W. Boucsein и W. Ottmann [12]. Регистрировалась концентрация катехоламинов в моче, кожно-гальваническая реакция, показатели сердечной деятельности и субъективные характеристики настроения и физических симптомов. Отдельные эффекты действия шума на работоспособность не были обнаружены, однако наблюдался эффект значимого взаимодействия между двумя изучаемыми факторами. Установлено, что шум влияет на генерализованную реакцию организма, а эффект ночной смены связан с активацией организма в этот период.

Совместный эффект умеренного лишения сна и низкой дозы спирта при работе на специальном имитаторе управления движущимся объектом был изучен на 21 мужчинах (18–30 лет) [44]. Значительное ухудшение времени реакции наблюдалось при комбинированном действии ограничения сна и алкоголя. В этом случае значимо увеличивался индекс  $\alpha/\theta$  электроэнцефалограммы, наблюдались проявления сонливости и ухудшение качества деятельности. Эти данные указывают, что объединенное действие низкой дозы алкоголя с умеренным ограничением сна существенно влияют на бдительность и качество работы оператора и ведет к росту потенциального риска появления аварии.

Воздействие ограничения сна и утомления на надежность водительской деятельности изучалась [38] на 22 молодых мужчинах. Установлено, что число пересечений условной линии, характеризующее надежность водительской деятельности, в 8,1 раза возросло у лиц с дефицитом сна по сравнению с выспавшимися. Повышение уровня сонливости коррелировало с ухудшением надежности деятельности в 1,9 раза. Однако увеличение степени самовосприятия утомления не сказывалось на надежности деятельности. Причем основные межиндивидуальные различия проявлялись, в основном, при дефиците сна.

### **Влияние автоматизации на надежность операторской деятельности**

В настоящее время уровень технического развития аппаратных средств и программного обеспечения позволяет вводить автоматизацию практически во все звенья функционирования человеко-машинных сис-

тем. Автоматизация не вытесняет, но значительно видоизменяет человеческую деятельность по управлению машинами и процессами. В связи с этим в современной литературе имеется мнение, что автоматизация человеческой деятельности может быть приложена к таким сферам [37]: 1 – получение информации; 2 – анализ полученной информации; 3 – выбор решения и действия; 4 – реализация действия. В пределах каждой из этих сфер автоматизация может обеспечивать как полное руководство управляемым процессом оператором, так и полную автоматизацию этого управления. Причем каждая конкретная система может включать любой набор указанных сфер применения на любых уровнях управляемой системы. Конкретный вид автоматизации диктуется управляющими возможностями человека. Для принятия решений в этой области большую роль могут сыграть психофизиологические данные [16]. Такая информация может оказаться особенно полезной для предотвращения ухудшения деятельности в условиях неполной загрузки, которая сопровождает автоматизацию.

Сейчас все чаще указывают на неоднозначность эффекта воздействия автоматизации деятельности на надежность работы операторов. Так M.I. Nikolic и N.B. Sarter [36] подчеркнули, что поскольку ошибки не могут быть полностью устранены, то значительное внимание необходимо уделять их предотвращению, диагностике и анализу. Было обнаружено, что автоматическая диагностика ошибок была малоэффективной вследствие ее недостаточного совершенства и значительной временной задержки при осуществлении их индикации. Поэтому эпизоды с автоматическим определением ошибок являются достаточно редкими. Кроме того, существенную роль играл фактор доверия к уровню автоматизации управления ошибками. Эти данные свидетельствуют о наличии определенных недостатков в автоматизации, устанавливая потребность в ее улучшении. Последующее совершенствование средств автоматизации будет способствовать более точному и оперативному выявлению ошибок, а также обнаружению их причин с возможностью предупреждения и восстановления последствий сбоев.

В различных рабочих ситуациях автоматизация может приводить к неодинаковым эффектам. Так, в исследованиях M.R. Endsley и D.B. Kaber [20], тридцать операторов проводили имитационные испытания, включающие различные уровни автоматизации управления ракетным комплексом. Авторами было отмечено, что некоторые приемы автоматизации приводили к снижению качества труда

операторов. По их мнению полученные результаты убеждают, что наибольший эффект автоматизации проявляется в штатных ситуациях. Здесь при наличии средств автоматизации наблюдалось уменьшение нагрузки на оператора и более высокая его информированность в развитии событий. Исключение оператора из управляющей цепочки в более напряженных ситуациях приводило к появлению сбоев. Объединение человека с системой автоматизации управления приводило к определенной деградации эффективности его деятельности по сравнению с полностью человеческим или автоматизированным управлением.

### **Физиологические механизмы сохранения и повышения надежности деятельности**

Еще в 1748 году известный французский врач и философ Ж.О.Ламетри в своем трактате «Человек-машина» отмечал: «Я не ошибусь, утверждая, что человеческое тело представляет собой часовой механизм, но огромных размеров и построенный с таким искусством и изощренностью, что если остановится колесо, обозначающее минуты, он будет продолжать вращаться и идти как ни в чем небывало ...» [7, стр. 219]. Сейчас можно с большой долей уверенности говорить, что в организме человека существует ряд механизмов противодействия ошибочным действиям. Они развились в процессе эволюционных изменений человека и направлены на обеспечение его жизнедеятельности в различных условиях.

Один из таких механизмов основан на приспособительных реакциях организма к работе определенной интенсивности. При действии динамических информационных нагрузок нервная система приобретает навыки в предвидении изменений окружающей среды, чтобы предупреждать появление возможных ошибок ответных двигательных реакций и минимизировать физиологическую стоимость производимой работы [19]. В ходе моделирования реакций человека было показано, что динамика его действий может быть рассмотрена под углом зрения оптимизации имеющихся отклонений от отслеживаемого процесса и прилагаемых человеком усилий.

В других исследованиях было установлено, что тренировка осуществления рабочих операций не только модифицирует внутреннюю модель управления действиями, но и, для адекватного реагирования на появляющиеся в процессе отслеживания отклонений с помощью сенсорной обратной связи, приспособливает модель восприятия мозгом поступающей информации [48].

Значительных успехов в выявлении механизмов появления и предотвращения ошибочных действий достигла Н.П.Бехтерева. Ей удалось обнаружить специфическую активность мозга, воспроизводимо регистрирующуюся только при ошибочном выполнении тестового задания [9], что в дальнейшем привело к созданию концепции мозгового механизма «детекции ошибок». Сутью этого механизма является обеспечение реакции рассогласования текущего результата действия с «условно правильной моделью действительности», имеющейся в долговременной памяти человека.

Кроме того, с помощью этого механизма можно выявить ложный ответ, то есть определить феномен намеренного искажения действительного положения вещей с целью введения в заблуждение оппонента, в частности, такой ответ испытуемого, содержащий информацию, противоположную той, которая известна испытуемому и которую он считает правдивой [5]. Авторы определили параметры вызванных потенциалов, характеризующих, помимо реакции мозга на реализацию ложного ответа, также и процессы, связанные с принятием решения солгать. Увеличение амплитуды компонента П540 при намерении солгать может быть маркером вовлечения когнитивных механизмов выбора и подготовки ложного ответа. Обсуждая выявленный эффект исследователи указывают, что возможным объяснением феномена увеличения амплитуды компонента П540 при планировании ложного ответа может служить гипотеза, предложенная Р. Джонсоном и соавторами [28], согласно которой выбор ложного ответа связан с подавлением потенциально правдивого ответа. Такой эффект является обязательной составляющей в ряду событий, предшествующих реализации ложного ответа и требует привлечения дополнительных ресурсов по сравнению с ситуацией правдивого ответа.

В дальнейших исследованиях было установлено, что механизм «детекции ошибок» активизируется и в том случае, когда совершение такой ошибки выгодно [4]. Функциональный смысл указанной реакции авторы объясняют с позиций того, что испытуемый не должен верить в собственную ложь. Но даже в таком случае ложное действие воспринимается мозгом как ошибка. При употреблении алкоголя этот эффект может сдерживаться вследствие нарушения работы «детектора ошибок», обусловленного блокированием его работы с помощью подавления функции бессознательного самоконтроля, что в дальнейшем облегчает сознательную реа-

лизацию ложных действий. Предполагается, что именно вследствие нарушения процессов обеспечения автоматических действий при употреблении алкоголя наблюдаются трудности в реализации сложных двигательных актов, требующих быстрого и единственно верного исполнения в критических ситуациях. Появление такого эффекта вполне закономерно потому, что деятельность переходит под контроль сознания, скорость работы которого существенно ниже относительно бессознательных процессов. В любом случае латентный период негативности вызванного потенциала, связанный с детекцией ошибки, не является строго фиксированным и может изменяться в зависимости от сложности реализуемой деятельности.

### Информативные показатели надежности операторской деятельности

Важной задачей современной психофизиологии является разработка чувствительных и адекватных методов оценки надежности, работоспособности и умственной нагрузки оператора. Для решения этой задачи применяются как внешние оценки деятельности, так и некоторые характеристики функционирования организма. Примером использования внешних оценок может служить применение метода «дополнительной задачи» [2]. Суть метода заключается в том, что в процессе пилотирования летчику в случайном порядке предъявляли зеленый и красный сигналы, в ответ на которые он должен был нажимать соответствующие кнопки, если в этот момент мог отвлечься от своих функциональных обязанностей. В процессе пилотирования летчик самостоятельно начинал и заканчивал выполнение дополнительного задания, исходя из собственных субъективных представлений о возможности отвлечься от своих функциональных обязанностей. Метод «дополнительной задачи» позволил оценить загрузку летчика, провести количественное сравнение уровней занятости командира экипажа своими функциональными обязанностями в различных полетных ситуациях. Автором предложен коэффициент занятости, основанный на учете длительности латентных периодов двигательных ответов.

Попытка оценки умственной нагрузки с использованием методов электроэнцефалографии (ЭЭГ) была предпринята А. Murata [35]. Участники исследования выполняли задачи на трех уровнях сложности. Было установлено, что индекс сложности задач имел тенденцию к возрастанию при повышении темпа их предъявления. Разработанные показатели

изменения активности центральной нервной системы в  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\theta$ -диапазонах ЭЭГ дали возможность различать наличие умственной нагрузки определенной интенсивности с высокой точностью.

Уровень согласованности умственной нагрузки в задачах на запоминание изучался на 80 испытуемых с помощью 20-минутного теста [10]. Параллельно, с помощью беспроводного сенсорного телефона, регистрировалась электрическая активность головного мозга. Определяли уровень связи между показателями ЭЭГ, объективными данными об успешности выполнения работы и субъективными впечатлениями об уровне нагрузки. Установлено, что согласованное изменение показателей ЭЭГ и интенсивности умственной деятельности наиболее ярко проявляется при повышении нагрузки на память.

Задача оперативной оценки функционального состояния человека, выполняющего сложные задания, важна для обеспечения безопасности полета космонавтов, длительное время, пребывающих в экстремальных условиях. Поэтому для отработки индикаторов функционального состояния человека используют модельные эксперименты на лицах, находящихся в длительной изоляции и, выполняющих интенсивную умственную работу [32]. В этой работе испытуемым, находящимся в условиях 60-дневной изоляции, предлагались батареи тестов, которые включали испытание памяти, внимания и комбинацию указанных задач. Исследования проводились до, в течение и после периода изоляции. В процессе выполнения работы регистрировались субъективные ощущения и ЭЭГ испытуемых. Было установлено, что состояние испытуемых ухудшалось в начале периода изоляции, стабилизировалось в середине и ухудшалось вследствие накопления утомления к концу периода изоляции. При анализе записей ЭЭГ обнаружена чувствительность мощности  $\alpha$ -волн (8–12 Гц), зарегистрированных в точке Pz, и  $\theta$ -волн (5–7 Гц), зарегистрированных в точке Fz, в условиях решения задач.

Задача оценки исполнительских возможностей летчика решалась С. Dussault и соавт. [18] с помощью регистрации ЭЭГ и ЭКГ в натуральных условиях полета. Показано, что в течение активных полетных сегментов достоверно увеличивались частоты в  $\delta$ - и  $\theta$ -диапазонах, в частности, в  $\theta$ -диапазоне на 22,5 %, а в  $\alpha$ -диапазоне — уменьшались на 30 %. При этом возрастал коэффициент  $\alpha/\beta$ . Изменение параметров ЭКГ коррелировало с изменением показателей электрической активности головного мозга. Авторы пришли к выводу, что

исследованные электрофизиологические показатели обеспечивают получение информации об интенсивности умственной нагрузки в полете.

Другие исследователи считают, что субъективные и психофизиологические индикаторы обеспечивают получение уникальной информации об умственной нагрузке в течение полета [22]. Они установили, что показатели ЭКГ более чувствительны к требованиям полета особенно при взлете и посадке, но диагностически менее ценны в отношении определения причины нагрузки. Характеристики зрения чувствительны только к визуальной нагрузке. Частоты в  $\theta$ -диапазоне демонстрируют повышение мощности в течение тех сегментов полета, которые требовали вычислений в уме. Авторы считают, что использованные психофизиологические индикаторы обеспечивают получение непересекающейся информации о функциональном состоянии летчика. Такого же мнения об использовании показателей ЭКГ для оценки полетной нагрузки придерживаются также и некоторые другие авторы [41 и др.].

Показатели сердечного ритма могут дать ценную информацию для оптимизации полетных заданий, осуществляемых с помощью тренажера [3]. Использованный тренажер дал возможность формировать задания различной сложности путем моделирования пространственного движения самолета при различном месторасположении центра тяжести в грузовой кабине. Определенное месторасположение груза обуславливало сложность управления и трудность выдерживания безопасных параметров полета. Установлено, что частота сердечных сокращений летчика тесно связана с субъективной оценкой его общего психологического комфорта, а вариабельность сердечного ритма — с уровнем интенсивности контроля параметров пилотирования при выполнении заходов на посадку различной сложности. Использованный подход позволил проранжировать обследованные полетные ситуации по степени их сложности.

Для получения дополнительной информации об умственной нагрузке в течение имитированного управления воздушным движением диспетчерами кроме параметров ЭКГ использовались характеристики мигания век, быстрого скачкообразного движения глаз и параметры дыхания [15]. Установлено, что динамика уровня нагрузки совпадала с изменениями показателей мигания век, дыхания и ЭКГ, причем, только параметры ЭКГ были связаны с эффектами типа движения.

Для точной оценки функционального состояния летчика важно исследовать чувствительность при-

меняемых индикаторов. Для оценки нагрузки летчика в ситуации моделируемого сложного полета на 14 испытуемых были проведены исследования показателей сердечного ритма, артериального давления, дыхания и мигания век [45]. Оказалось, что медленный ритм дыхания содействовал значительному увеличению изменчивости показателей сердечного ритма, особенно после выполнения интенсивной умственной нагрузки. Приросты артериального давления и показателей сердечного ритма были чувствительны к увеличению умственного усилия. Мигание век было сопряжено с визуальной нагрузкой. Причем, когда испытуемые должны были обрабатывать сложную зрительную информацию число и длительность миганий уменьшались.

Как уже было указано ранее, перспективными характеристиками качества деятельности летчика могут считаться показатели электроокулограммы [34]. Исследование изменения надежности деятельности при развитии утомления, вызванного лишением сна, осуществлялось с помощью летного тренажера. Оценивались ошибки высоты полета и его скорости. Выраженность утомления, нагрузки и сонливости были оценены с помощью специальных опросников. Электроокулограмма давала информацию о количестве миганий (BR), длительности миганий, длительности закрытия глаз веками (LCR), амплитуде миганий (BA), скорости быстрого скачкообразного движения глаз и максимальной скорости быстрого скачкообразного движения глаз. Оказалось, что субъективные ощущения усталости возрастали в течение эксперимента и согласовывались со снижением надежности деятельности. Наилучшим прогностическим показателем изменения количества ошибок был BA. Следующими по информативности были показатели BR и LCR. LCR и BA были наилучшими показателями момента повышения уровня ошибочной деятельности.

### **Мероприятия, направленные на обеспечение высокой надежности деятельности оператора**

Мощным средством повышения надежности операторской деятельности является применение оздоровительных, лечебно-профилактических и реабилитационных мероприятий. В украинских военно-воздушных силах эти мероприятия приняли форму внедрения в практику медицинского обеспечения летного состава превентивной реабилитации как системы оздоровительных и восстановительных мероприятий, регламентированных в зависимости от исходного состояния организма летчика в про-

цессе учебно-боевой подготовки [1]. При планировании проведения таких мероприятий учитывается, что изменения функционального состояния и профессиональной работоспособности летного состава имеют фазовый характер и зависят от продолжительности непрерывной летной работы после очередного отпуска. Превентивная реабилитация проводится на основе следующих принципов: а) выполняется комплексное воздействие на профессиональные, физиологические, психологические и социальные сферы жизнедеятельности летчика; б) реализуется ориентация воздействия на патогенетические механизмы функциональных нарушений; в) проводится воздействие не только на организм, но и на личность летчика; г) осуществляется этапность и преемственность восстановительных процедур.

Необходимо отметить, что проблема эффективности реабилитации при воздействии психоэмоционального напряжения еще недостаточно полно изучена. Исследование механизмов реабилитации при таких воздействиях важно для разработки мероприятий по наиболее рациональному использованию трудового потенциала. Вплотную к решению этой проблемы подошли в Институте нормальной физиологии им. П.К.Анохина. Здесь изучали физиологические механизмы комплексной реабилитационной программы и входящих в нее отдельных реабилитационных методик [6]. Было установлено, что локальные ритмические тепловые воздействия, синхронизированные с ритмом дыхания, способствовали восстановлению мощности медленных волн в задних отделах мозга и «подавляли» высокочастотную  $\beta$ -активность в правой фронтальной коре, а также позволили ослабить симпатические влияния, вызванные психоэмоциональным напряжением. Аутогенная экспресс-регуляция, обращенная к психической сфере человека, обусловила тенденцию к снижению  $\alpha$ -активности в задних отделах коры и возникновению правополушарной асимметрии по  $\delta$ -ритму, тем самым создала «почву» для активации образно-чувствительного мышления у обследуемых и развития релаксации и т.п. Автор пришла к выводу, что комплексная реабилитационная программа, адресованная к целостному организму человека, проявила себя как эффективное средство восстановления нарушенных функций после психоэмоционального напряжения.

## Заключение

Анализ современных литературных источников показал, что на надежность операторской деятельности влияют несколько групп факторов, которые условно можно назвать внутренними и внешними (рисунок). Внутренние факторы, связаны с организмом оператора, и подразделяются на несколько компонентов. Здесь нельзя выделить ведущего компонента, поскольку все они взаимозависимы друг от друга и только имеют некоторые особенности, которые и позволили их выделить. Так, информационный компонент связан с восприятием и переработкой информации, выработкой решений. Его действие создает условия для требуемого функционирования системы «человек-машина». Операционный компонент, скорее всего, связан с действиями по управлению и обеспечивает своевременное и безошибочное выполнение оператором требуемых действий. Операционные сбои могут иметь последствия разной тяжести и, вероятно, связаны со значительной интенсивностью управляемого процесса (когда человек в силу ограниченной скорости нервных процессов просто не успевает адекватно отреагировать на возникшую ситуацию), кратковременной потерей памяти, временным засыпанием и другими физиологическими явлениями. И, наконец, функциональное состояние — компонент, на фундаменте которого разворачиваются

### ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

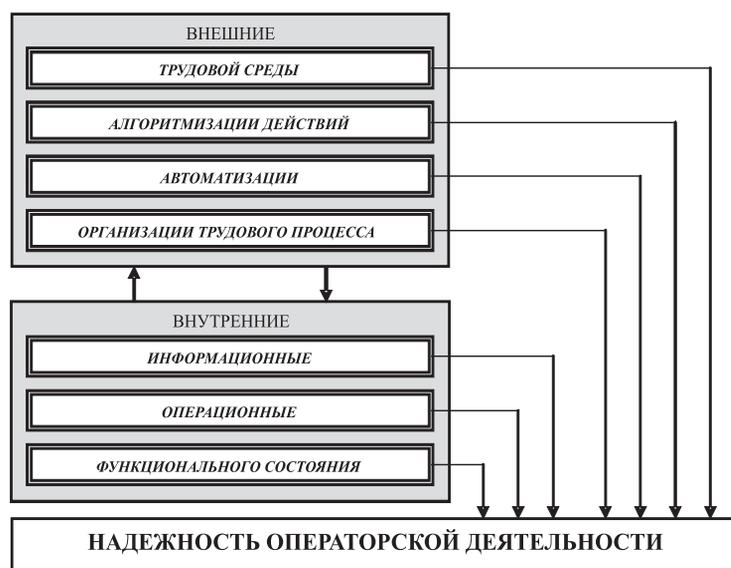


Рисунок. Формирование надежности операторской деятельности.

все процессы, связанные с управлением объектом или процессом. Эта комплексная характеристика организма также отражает рабочее напряжение оператора, вызываемое различными воздействиями трудовой среды.

Большое влияние на безошибочность работы оператора имеет внешняя среда. Условно влияние внешней среды можно тоже разбить на несколько компонентов. Трудовая среда включает воздействия физических, химических, биологических, социально-психологических, экономических и эргономических факторов, непосредственно и опосредованно формирующих определенные условия, в которых осуществляется операторская деятельность. Фактор алгоритмизации действий включает различные предписания о выполнении в определенном порядке некоторой совокупности операций, необходимых для достижения поставленных целей. Алгоритмы деятельности операторов описываются на системном уровне (определение целей деятельности персонала, установление обязанностей должностных лиц и пр.) и на уровне действий (описание конкретного содержания действий в тех или иных условиях для достижения цели). Существенную роль в современном производстве и на тран-

спорте играет фактор автоматизации, позволяющий, с одной стороны, освободить оператора от выполнения рутинной, монотонной работы, а, с другой — вызывающий снижение бдительности и готовности к оперативному выполнению заданий. Значимым является фактор организации трудового процесса, которому в последнее время уделяется достаточно много внимания. Этот фактор определяет режимы взаимодействия человека с машиной и другими людьми в процессе решения поставленных задач. В целом взаимодействие внутренних и внешних факторов оказывает решающее влияние на надежность деятельности оператора.

В заключение необходимо отметить, что анализ литературы показывает, что не до конца выясненным остается вопрос о закономерностях формирования надежности деятельности оператора при существенно различающихся состояниях его организма: функциональном покое, стрессе, переутомлении. Решение этого вопроса очень важно, т.к. современный оператор не всегда работает в благоприятных условиях и не всегда находится в оптимальном с точки зрения его здоровья состоянии, что может приводить к значительному снижению надежности его деятельности.

## Литература

1. Варус В.И. Превентивные реабилитационные мероприятия по сохранению здоровья и профессиональной надежности летного состава / В.И. Варус // Военно-медицинский журнал. — 1997. — № 2. — С. 54–57.

2. Горбунов В.В. Информативность метода «дополнительной задачи» для оценки рабочей загрузки летчика / В.В. Горбунов // Медицина труда и промышленная экология. — 2005. — № 10. — С. 30–35.

3. Горбунов В.В. Сердечный ритм летчика — психофизиологический критерий операторской деятельности при моделировании полетных ситуаций / В.В. Горбунов // Медицина труда и промышленная экология. — 2007. — № 1. — С. 11–16.

4. Киреев М.В. Исследование механизмов мозгового «детектора ошибок» в норме и под действием алкоголя / М.В. Киреев, С.В. Пахомов, С.В. Медведев // Физиология человека. — 2008. — Т. 34. — № 2. — С. 13–22.

5. Этапы мозгового обеспечения заведомо ложных ответов / [Киреев М.В., Старченко М.Г., Пахомов С.В., Медведев С.В.] // Физиология человека. — 2007. — Т. 33. — № 6. — С. 5–13.

6. Классина С.Я. Комплекс реабилитационных воздействий для компенсации последствий психоэмоционального напряжения / С.Я. Классина // Физиология человека. — 2007. — Т. 33. — № 5. — С. 55–62.

7. Ламетри Ж.О. Человек-машина / Ж.О. Ламетри // Сочинения. — М.: Мысль, 1983. — С. 169–226.

8. Эффект мотивационных и эмоциональных аспектов работы в структуре ошибок оператора / [Сорокина Н.Д., Хачатурьянц М.Л., Теплов Д.И., Гуцин В.И.] // Авиационная экология и медицина. — 1993. — № 27(1). — С. 23–26.

9. Bechtereva N.P., Gretchin V.B. Physiological foundations of mental activity // International Review of Neurobiology. — 1968. — V. 11. — P. 329–343.

10. EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks / [Berka C., Levendowski D.J., Lumicao M.N. et al.] // Aviat. Space Environ Med. — 2007. — V. 78. — № 5. — P. 231–244.

11. Blumenthal J.A. Contribution of job strain, job status and marital status to laboratory and ambulatory blood pressure in patients with mild hypertension / Blumenthal J.A., Thyrum E.T., Siegel W.C. // J. Psychosom. Res. — 1995. — V. 39. — № 2. — P. 133–144.

12. Boucsein W. Psychophysiological stress effects from the combination of night-shift work and noise / Boucsein W., Ottmann W. // Biol. Psychol. — 1996. — V. 5. — № 42(3). — P. 301–322.

13. Job strain and psychological distress in white-collar workers / Bourbonnais R., Brisson C., Moisan J., Vezina M. // Scand. J. Work Environ Health. — 1996. — V. 22. — № 2. — P. 139–145.

14. Braby C.D. A psychophysiological approach to the assessment of work underload / Braby C.D., Harris D., Muir H.C. // *Ergonomics*.– 1993.– V. 36.– № 9.– P. 1035–1042.
15. Brookings J.B. Psychophysiological responses to changes in workload during simulated air traffic control / Brookings J.B., Wilson G.F., Swain C.R. // *Biol. Psychol.*– 1996.– V. 5.– № 42(3).– P. 361–377.
16. Byrne E.A. Psychophysiology and adaptive automation / Byrne E.A., Parasuraman R. // *Biol. Psychol.*– 1996.– V. 5.– № 42(3).– P. 249–268.
17. Is high job strain associated with hypertension genesis? / Ducher M., Cerutti C., Chatellier G., Fauvel J.P. // *Am. J. Hypertens.*– 2006.– V. 19.– № 7.– P. 694–700.
18. Dussault C. EEG and ECG changes during selected flight sequences / Dussault C., Jouanin J.C., Guezennec C.Y. // *Aviat. Space Environ Med.*– 2004.– V. 75.– № 10.– P. 889–897.
19. Motor adaptation as a greedy optimization of error and effort / [Emken J.L., Benitez R., Sideris A. et al.] // *J. Neurophysiol.*– 2007.– V. 97.– № 6.– P. 3997–4006.
20. Endsley M.R. Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task / Endsley M.R., Kaber D.B. // *Ergonomics*.– 1999.– V. 42.– № 3.– P. 462–492.
21. Eyrolle H. The effects of interruptions in work activity: field and laboratory results / Eyrolle H., Cellier J.M. // *Appl. Ergon.*– 2000.– V. 31.– № 5.– P. 537–543.
22. Hankins T.C. A comparison of heart rate, eye activity, EEG and subjective measures of pilot mental workload during flight / Hankins T.C., Wilson G.F. // *Aviat. Space Environ Med.*– 1998.– V. 69.– № 4.– P. 360–367.
23. Hewson D.J. The effect of aircraft control forces on pilot performance during instrument landings in a flight simulator / Hewson D.J., McNair P.J., Marshall R.N. // *Aviat. Space Environ Med.*– 2001.– V. 72.– № 7.– P. 617–623.
24. The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work / [Hjortskov N., Riss?n D., Blangsted A.K. et al.] // *Eur. J. Appl. Physiol.*– 2004.– № 92(1–2).– P. 84–89.
25. Holroyd C.B. The Neural Basis of Human Error Processing: Reinforcement Dopamine, and the Error-Related Negativity / Holroyd C.B., Coles M. // *J. Appl. Behavioral Science.*– 2004.– V. 40.– № 1.– P.66–90.
26. Hsieh S. Task reconfiguration and carryover in task switching: an event-related potential study / Hsieh S., Cheng P. // *Brain. Res.*– 2006.– V. 21.– № 1084(1).– P. 132–145.
27. Hutt J. The effects of task demand and decision latitude on cardiovascular reactivity to stress / Hsieh S., Cheng P. // *Behav. Med.*– 1993.– № 18(4).– P. 181–188.
28. Johnson R. The deceptive response: effects of response conflict and strategic monitoring on the late positive component and episodic memory-related brain activity / Johnson R., Barnhardt J., Zhu J. // *Biological Psychology*.– 2003.– V. 64.– P. 217–253.
29. Job stress and cardiovascular risk factors in male workers / [Kang M.G., Koh S.B., Cha B.S. et al.] // *Prev. Med.*– 2005.– V. 40.– № 5.– P. 583–588.
30. The Job Content Questionnaire (JCQ): an instrument for internationally comparative assessments of psychosocial job characteristics / [Karasek R., Brisson C., Kawakami N. et al.] // *J. Occup. Health Psychol.*– 1998.– V. 3.– № 4.– P. 322–355.
31. Experimental study of pilots' scan and performance, workloads / Liu W., Yuan X.G., Liu Z.Q. et al.] // *Space Med. Med. Eng. (Beijing)*.– 2005.– V. 18.– № 4.– P. 293–296.
32. Lorenz B. Performance and brain electrical activity during prolonged confinement / Lorenz B., Lorenz J., Manzey D. // *Adv. Space Biol. Med.*– 1996.– № 5.– P. 157–181.
33. Monk C.A. Recovering from interruptions: implications for driver distraction research / Monk C.A., Boehm-Davis D.A., Trafton J.G. // *Hum. Factors*.– 2004.– V. 46.– № 4.– P. 650–663.
34. Morris T.L. Electrooculographic and performance indices of fatigue during simulated flight / Morris T.L., Miller J.C. // *Biol. Psychol.*– 1996.– V. 5.– № 42(3).– P. 343–360.
35. Murata A. An attempt to evaluate mental workload using wavelet transform of EEG / Murata A. // *Hum. Factors*.– 2005.– V. 47.– № 3.– P. 498–508.
36. Nikolic M.I. Flight deck disturbance management: a simulator study of diagnosis and recovery from breakdowns in pilot-automation coordination / Nikolic M.I., Sarter N.B. // *Hum. Factors*.– 2007.– V. 49.– № 4.– P. 553–563.
37. Parasuraman R. A model for types and levels of human interaction with automation / Parasuraman R., Sheridan T.B., Wickens C.D. // *IEEE Trans Syst Man Cybern A Syst Hum.*– 2000.– V. 30.– № 3.– P. 286–297.
38. Fatigue, sleep restriction and driving performance / [Philip P., Sagaspe P., Moore N. Et al.] // *Accid. Anal. Prev.*– 2005.– V. 37.– № 3.– P. 473–478.
39. Rau R. Psychophysiological assessment of human reliability in a simulated complex system / Rau R. // *Biol. Psychol.*– 1996.– V. 5.– № 42(3).– P. 287–300.
40. Rau R. Job strain or healthy work: a question of task design / Rau R. // *J. Occup. Health Psychol.*– 2004.– № 9(4).– P. 322–338.
41. Roscoe A.H. Heart rate as a psychophysiological measure for in-flight workload assessment / Roscoe A.H. // *Ergonomics*.– 1993.– V. 36.– № 9.– P. 1055–1062.
42. Steptoe A. Job strain, blood pressure and response to uncontrollable stress / Steptoe A., Cropley M., Joeckes K. // *J. Hypertens.*– 1999.– V. 17.– № 2.– P. 193–200.
43. Information complexity-mental workload and performance in combat aircraft / [Svensson E.,

Angelborg-Thanderz M., Sjoberg L., Olsson S.] // Ergonomics.– 1997.– V. 40.– № 3.– P. 362–380.

44. Effects of moderate sleep deprivation and low-dose alcohol on driving simulator performance and perception in young men / [Vakulin A., Baulk S.D., Catchside P.G. et al.] // Sleep.– 2007.– V. 30.– № 10.– P. 1327–1333.

45. Veltman J.A. Physiological indices of workload in a simulated flight task / Veltman J.A., Gaillard A.W. // Biol. Psychol.– 1996.– V. 5.– № 42(3).– P. 323–342.

46. Effects of precision demands and mental pressure on muscle activation and hand forces in computer mouse tasks / [Visser B., De Looze M., De Graaff M., Van Dieen J.] // Ergonomics.– 2004.– V. 5.– № 47(2).– P. 202–217.

47. Influence of time pressure and verbal provocation on physiological and psychological reactions during work with a computer mouse / [Wahlstrom J., Hagberg

M., Johnson P.W. et al.] // Eur. J. Appl. Physiol.– 2002.– № 87(3).– P. 257–263.

48. Wang T. Learning the dynamics of reaching movements results in the modification of arm impedance and long-latency perturbation responses / Wang T., Dordevic G.S., Shadmehr R. // Biol. Cybern.– 2001.– V. 85.– № 6.– P. 437–448.

49. Yamamoto K. Effect of the balance between operators' processing abilities and required operating speed on operators' task performance and psycho-physiological state during simple repetitive work under time constraints / Yamamoto K., Izumi H., Kumashiro M. // J. UOEH.– 2007.– V. 1.– № 29(1).– P. 1–26.

50. The psychophysiological assessment method for pilot's professional reliability / [Zhang L.M., Yu L.S., Wang K.N. et al.] // Aviat. Space Environ Med.– 1997.– V. 68.– № 5.– P. 368–372.

**Кальниш В.В.**

## **СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ НАДІЙНОСТІ ОПЕРАТОРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

ДУ «Інститут медицини праці АМН України», м. Київ

Проведено огляд сучасної літератури, присвяченої різним аспектам формування надійності операторської діяльності, включаючи вплив трудового середовища, функціонального стану, напруженості праці. Розглянуто деякі фізіологічні механізми, що дозволяють організму адекватно реагувати в процесі роботи. Запропоновано класифікацію факторів, що впливають на якість виконання роботи.

**Ключові слова:** операторська діяльність, надійність, функціональний стан, психофізіологічні індикатори надійності діяльності

**Kalnysh V.V.**

## **ACTUAL APPROACHES TO ANALYSIS OF THE REALABILITY OF OPERATOR'S ACTIVITY**

SI «Institute for Occupational Health of AMS of Ukraine, Kyiv

A review of modern literature concerning different aspects of the promotion of the reliability of an operator's work, including the effect of work environment factors, functional state, tension of work, has been made. Selected physiological mechanisms have been considered, allowing the body to adequately response in the process of work, A classification of factors, contributing to the quality of work performance, has been proposed.

**Key words:** operator's activity, reliability, functional state, psychophysiological indices

*Поступила: 14.07.2009*

**Контактное лицо:** Кальниш В.В., ГУ «Институт медицины труда АМН Украины», 75, ул. Саксаганского, Киев, 01033. Тел. (44) 289-34-27.