



## Место и роль оператора в эргатической системе

Н.А. Захаров (НПП «Дозор» ОАО «Концерн КЭМЗ»)

*Показано, что от оператора во многом зависит надежность и безопасность функционирования эргатической системы и управляемого ей объекта. Рассмотрены вопросы совместного управления объектом со стороны человека и эргатической системы. Отмечена необходимость при допуске оператора к работе учитывать его функциональное состояние, а при подготовке – вырабатывать у него необходимые психологические качества. Рассмотрена возможность использования средств медицинской диагностики для оценки состояния оператора в процессе работы в эргатической системе.*

*Ключевые слова: эргатическая система, функциональное состояние оператора, тренажер, человеко-машинное взаимодействие, искусственный интеллект.*

### Введение

Эргатическая система — это сложная система, одним из элементов которой является человек или группа людей [1, 2], в частности, к эргатическим системам относятся транспортные средства, за исключением беспилотных, автоматизированные (не путать с автоматическими) системы управления, а также обучающие тренажеры. Человек, управляющий такой системой, называется оператором.

Безопасность функционирования сложных эргатических систем определяется как качеством и надежностью технологического оборудования, систем управления и противоаварийной защиты, так и квалификацией операторов и адекватностью их действий. Один из известных примеров последствий неправильных действий операторов — железнодорожная катастрофа на перегоне Аша — Улу-Теляк (Башкирская АССР) 4 июня 1989 г. [3]. В результате утечки из трубопровода широкой фракции легких углеводородов (смеси пропана, бутана и более тяжелых углеводородов) в низине, по которой проходила Транссибирская магистраль, образовалось облако газа. В момент встречи двух пассажирских поездов произошел объемный взрыв газа с последующим пожаром. Погибли 575 человек, 623 были ранены. Катастрофе предшествовало падение давления в трубопроводе, дежурный персонал вместо того, чтобы перекрыть трубопровод и приступить к поискам места утечки, увеличил подачу газа в поврежденный участок с целью повышения давления. В результате этих действий значительное количество взрывоопасных газов вытекло из трубы и скопилось в низине, что привело к трагедии.

### Интеграция ручного и автоматического управления

Автоматизация управления в современной эргатической системе включает в себя два компонента: автоматизацию мыслительной деятельности человека-оператора, находящегося в эргатическом конту-

ре управления объектом, и автоматизацию действий оператора при реализации принятых решений [4]. Уже в момент появления эргатических систем управления была поставлена задача оптимального распределения функций управления между человеком и машиной [1]. Современные технические средства расширили возможности автоматизации мыслительной деятельности человека в условиях управления объектом за счет использования алгоритмов искусственного интеллекта.

Человек полностью отстраняется от процесса управления объектом в тех случаях, когда устройства автоматики в достаточной степени заменяют его с учетом экономической целесообразности, условий безопасности, точности и надежности. Например, возможности большинства систем стабилизации и регулирования с обратной связью превышают предельные возможности человека-оператора с точки зрения точности, быстродействия, надежности. Однако существует множество процессов управляемого изменения внутренних состояний системы человек-машина, а также ее состояний, связанных с внешней средой, в которых человек-оператор является существенной частью системы управления. Например, в авиации комбинированные системы управления самолетами успешно применяются для обеспечения:

- автоматического управления самолетом на всех режимах полета;
- поканального перехода от автоматического режима управления к ручному управлению при вмешательстве человека-оператора (пилота) посредством перемещения ручки управления;
- возвращения в автоматический режим управления после того, как пилот прекратит ручное управление самолетом;
- сохранения динамического стереотипа ручного управления для пилота.

Последнее свойство очень важно в условиях использования автоматического управления на всех ре-

жимах полета при внезапной необходимости быстрых и четких действий пилота при переходе на ручное управление (например, для осуществления экстренного снижения самолета при разгерметизации кабины и т. д.).

Основная тенденция развития систем «человек-машина» направлена на отделение оператора от контура управления объектом и перенос функций управления на автоматику. Однако умственная деятельность человека при управлении достаточно сложным объектом в жестких условиях не может быть полностью заменена алгоритмическим обеспечением и техническими средствами. В то же время технические средства управления достаточно эффективны при использовании в качестве автоматических стабилизирующих систем, систем мониторинга и программного управления. Задача состоит в том, чтобы сделать управляющие воздействия, формируемые оператором и автоматикой, совместными, в том смысле, что человек может подкорректировать управляющие воздействия, не отключая работу автоматики и не принимая управления на себя.

С целью обеспечения совместного управления в [4] предлагается организация управления без разделения управляющих воздействий от оператора и от автоматики во времени. Эргатическая система должна одновременно воспринимать управляющие воздействия по двум упомянутым каналам.

Для реализации данной концепции при управлении самолетом предложен инновационный подход, заключающийся в создании математической модели объекта под совместным управлением на основе конечного множества неполных представлений элементарных движений объекта. Этот подход делит процесс проектирования автоматического управления на два этапа: выполнение последовательности элементарных движений и выбор моментов времени для изменения элементарных движений в определенной последовательности. В рамках первого этапа применяются технологии искусственного интеллекта: наполнение экспертных систем, базы знаний, «обучение» автоматического помощника. На этом же этапе организовывается обучение оператора. В рамках второго этапа применяются настроенные на предыдущем этапе математические модели, обеспечивающие выполнение автоматизированных расчетов моментов времени, в которые будут происходить изменения элементарного движения объекта. Данный подход может быть применен и при управлении технологическими процессами промышленных предприятий.

#### **Подготовка и допуск оператора к работе с эргатической системой**

От оператора эргатической системы во многом зависит безопасность ее функционирования. В статье [5] утверждается, что «до 70% аварий и происшествий в промышленности и на транспорте связано со спецификой проявления человеческого фактора». При

этом более половины происшествий совершают около 10% операторов, не обладающих определенными психологическими качествами. Эти качества называются «профессионально важные психологические качества» (ПВК). С целью снижения риска возникновения аварийных ситуаций по вине оператора требуется выполнять оценку ПВК работающих и принимаемых на работу операторов. Для этого АО «НЕЙРОКОМ» (Москва) разработан универсальный психодиагностический комплекс УПДК-МК.

Тестирование на УПДК-МК дает возможность оценить стрессоустойчивость, распределение и концентрацию внимания, помехоустойчивость, склонность к риску, бдительность и иные важные для профессиональной деятельности свойства оператора. В результате внедрения УПДК-МК была выявлена необходимость создания тренажеров для индивидуальной коррекционной работы со специалистами, имеющими недостаточный уровень ПВК. Для решения этой задачи АО «НЕЙРОКОМ» разработан и внедрен психофизиологический тренажер ТА-2 [5, 6]. Данный тренажер позволяет отрабатывать способность к точному восприятию информации и своевременному реагированию при помощи следующих методик [6]:

- тренировка избирательности и концентрации внимания;
- тренировка распределение и переключения внимания;
- тренировка памяти на образы;
- тренировка памяти на символы;
- комплексная тренировка внимания и памяти;
- тренировка навыков самоконтроля;
- тренировка гибкости темпа действий;
- тренировка устойчивости к монотонии.

В [6] отмечены положительные результаты внедрения ТА-2 на железнодорожном транспорте при подготовке диспетчеров энергосистем и членов локомотивных бригад.

#### **Учет состояния оператора**

Для эффективного и безопасного функционирования эргатической системы требуется оценка качества работы оператора. Для этого в [2] предлагается оценивать его функциональное состояние. Информация о функциональном состоянии оператора позволяет предупреждать критические ситуации, в которых он перестает адекватно выполнять свои обязанности, или появляется угроза его здоровью. Особенно актуальна задача оценки состояния оператора на опасных объектах промышленности и на транспорте. Для оценки функционального состояния оператора применяются специализированные аппаратно-программные комплексы, предназначенные для проведения медико-биологических исследований.

В [2] предлагается вводить в эргатические системы дополнительный контур управления с биологической обратной связью, позволяющий переконфигурировать систему в случае обнаружения несоответствия

оператора поставленной ему задаче по причине его неудовлетворительного функционального состояния. В указанном контуре реализуется управление сложностью поставленной задачи. Данное решение рассмотрено на примере многоуровневой (с несколькими операторами, занимающими разные иерархические уровни) эргатической системы, реализованной в виде обучающего тренажера.

Качество выполнения оператором возложенных на него функций можно определить по результатам измерения его физиологических параметров. Также можно оценить реакцию оператора на изменение уровня сложности поставленной задачи. Для каждого конкретного оператора можно сформировать набор значений параметров, соответствующих его нормальному функциональному состоянию (индивидуальную норму). В дальнейшем это позволит выявлять признаки его переутомления или обнаружить риск угрожающего его здоровью события. Используя биологическую обратную связь, можно путем изменения уровня сложности поставленной задачи перевести оператора из патологического (ненормального) функционального состояния в нормальное.

Применительно к рассматриваемому примеру обучающего тренажера управление сложностью поставленной задачи заключается в переходе от менее сложного уровня обучения к более сложному по критерию нахождения оператора в состоянии индивидуальной нормы при работе на текущем уровне. На производстве возможно отстранение оператора, находящегося в неудовлетворительном состоянии, от работы, а также перераспределение нагрузки между несколькими операторами для наиболее эффективного решения общей задачи.

В качестве примера измерительного устройства в цепи биологической обратной связи отметим программно-аппаратный комплекс ПАК-ЦНС-01 разработки Института аналитического приборостроения РАН. В ходе тестирования на данном комплексе человеку, чье состояние оценивается, ставится задача удержания оказываемого кончиками пальцев обеих рук воздействия на чувствительную платформу. Каждая рука воздействует на свой датчик, а уровень усилия каждой руки отображается отдельной меткой на экране компьютера. Требуется путем приложения усилия совмещать метки на экране. Диагностика осуществляется по анализу характера удержания усилия и регистрируемых треморограмм.

Приведенная выше реализация мониторинга состояния оператора основана на периодическом проведении диагностических процедур. Далее на примере водителя автомобиля рассмотрим решение задачи непрерывной диагностики в реальном времени.

Для контроля функционального состояния водителя транспортного средства в [7] предлагается контроль его электродермальной активности. Электродермальная активность (ЭДА) — это изменение сопротивления между двумя электродами, наложен-

ными на кожу руки человека в области пальцев, ладони или запястья. ЭДА позволяет отследить психоэмоциональное состояние человека, в том числе уровень бодрствования. Экспериментально установлено, что в состоянии, предшествующем засыпанию, исчезают специфические импульсы ЭДА. В качестве критерия активного бодрствования принято расстояние между импульсами ЭДА  $\leq 60$  с.

По принципу контроля ЭДА реализована система непрерывного мониторинга психофизиологического состояния водителя в пути «Вигитон» производства АО «НЕЙРОКОМ» [7]. В ее состав входят носимые части (браслет и перстень), стационарный блок и блок коммутации. При помощи расположенных на носимых частях электродов с водителя непрерывно считывается информация об электрическом сопротивлении его кожи. Стационарный блок принимает данные с браслет и перстня, выделяет специфические импульсы ЭДА и оценивает уровень бодрствования. При снижении уровня бодрствования ниже заданного блок выдает водителю запрос на подтверждение бдительности. С целью снижения числа запросов в состав системы введен блок коммутации, считывающий активность водителя по управлению транспортным средством — нажатие на педаль тормоза, использование указателей поворота, включение ручного тормоза. Предусмотрена интеграция системы «Вигитон» с навигационным оборудованием автомобиля и информирование диспетчера о состоянии водителя в реальном времени.

#### Влияние эргатической системы на оператора

Оператор эргатической системы работает длительное время. Для исследования влияния системы на функциональное состояние человека выполнен эксперимент [8], в ходе которого оценивалось изменение параметров сердечно-сосудистой активности человека в процессе его работы с эргатической системой. Используются следующие методики оценки функционального состояния:

- измерение вариабельности сердечного ритма (ВСР);
- реовазография (РВГ) верхних конечностей;
- электропунктурная диагностика (ЭПД).

ВСР характеризует различия во времени между последовательными сердцебиениями. Время от одного удара сердца до другого не фиксировано, оно изменяется между ударами, отсюда и название «вариабельность сердечного ритма».

Реография — это метод исследования кровоснабжения органов и частей человеческого тела. Он заключается в измерении и графическом отображении пульсовых колебаний импеданса, зависящих от кровенаполнения органа. Реовазография — это частный случай реографии, а именно, реография кровеносных сосудов верхних и нижних конечностей.

ЭПД основана на измерении сопротивления электрическому току локальных участков кожи, располо-

женных в определенных местах [9, 10]. Метод основан в 1950 г. физиологом И. Накатани (Япония), установившим, что сопротивление кожи в точках акупунктуры отличается от сопротивления в соседних местах и может быть использовано для диагностики состояния соответствующих точек акупунктуры органов.

В качестве операторов эргатической системы в эксперименте участвовали студенты, прошедшие обучение с использованием иммерсивных технологий. Четырехчасовое занятие состояло из ознакомления с теоретическим материалом, выполнения практических упражнений на компьютере и итогового компьютерного теста. Указанные выше обследования с регистрацией результатов для каждого из участников были выполнены два раза — перед началом работы с обучающей системой и после завершения тестирования.

Отмечено значительное изменение измеренных параметров в ходе эксперимента. В контрольных группах, проходивших обучение в обычных лабораториях без применения иммерсивных<sup>1</sup> технологий, таких изменений не наблюдалось. Контролируемые в исследованиях параметры восстанавливались к началу следующего занятия [9]. Тем не менее, чтобы указанные изменения не стали необратимыми, рекомендуется в ходе работы в эргатической системе делать перерывы на гимнастику и упражнения для глаз.

#### Заключение

С развитием средств автоматизации роль и ответственность человека в управлении опасными объектами в промышленности и на транспорте не снижается. При создании эргатических систем следует тщательно прорабатывать вопросы интеграции ручного и автоматического управления.

При решении вопроса о допуске оператора к работе следует учитывать не только его профессиональную квалификацию, но и его психологические качества. Тестирование психологических качеств возможно при помощи программно-аппаратных средств, что делает возможным его массовое применение. Требуемые оператору для выполнения своих обязанностей профессиональные психологические качества можно нарабатывать на специализированных тренажерах. В эргатической системе целесообразна организация контура управления сложностью поставленной отдельному оператору задачи в зависимости от его функционального состояния. Оценка функционального состояния осуществима при помощи инструментальных средств. Ее можно выполнять как периодически, так и непрерывно в режиме реаль-

ного времени. Компоненты эргатической системы взаимосвязаны и оказывают влияние друг на друга. Поэтому следует учитывать не только воздействие оператора на технические средства и собственно объект управления, но и его реакцию на работу в составе системы. Последствия работы человека в системе сказываются на его функциональном состоянии. Они доступны для оценки средствами медицинской диагностики. Для избежания негативных необратимых изменений здоровья оператора следует принимать меры профилактики.

#### Список литературы

1. Энциклопедия кибернетики в двух томах. Под редакцией Глушкова В.М. Киев, 1974.
2. Жвалецкий О.В. Управление сложностью задач в эргатических системах на основе оценки функционального состояния оператора // Тр. XIII Всероссийского совещания по проблемам управления. ВСПУ-2019. С. 1628-1632.
3. Chernov D., Sornette D. Man-made Catastrophes and Risk Information Concealment Case Studies of Major Disasters and Human Fallibility — Springer, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-24301-6.
4. Турва В.О., Саусhev А.В. и Шергина О.В. Automation Elements of Mental Activity and Actions of Human Operator in Ergatic System “Man-Machine” // International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, 2018, pp. 1-5. doi: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501665.
5. Кремез А.С., Бонч-Бруевич В.В. Психологические аспекты безопасности деятельности оперативного персонала технологических установок // Автоматизация в промышленности. 2011. № 7. С. 43-48.
6. Кремез А.С. Опыт разработки и применения компьютерных методов профессиональной психологической подготовки операторов транспортных систем // Автоматизация в промышленности. 2014. № 2, С. 29-33.
7. Бонч-Бруевич В.В., Демченко В.В., Кремез А.С., Макаев Д.В., Юров А.П. Система дистанционного контроля бодрствования водителя в рейсе // Автоматизация в промышленности. 2015. № 2. С. 40-42.
8. Strakhova O., Ryzhov O.A. Quantitative parameters of human's functional state in the ergatic learning environment // 6th European Immersive Education Summit. 2016.
9. Нечушкин А.И., Гайдамакина А.М. Стандартный метод определения тонууса вегетативной нервной системы в норме и патологии // Журнал экспериментальной и клинической. АН АрмССР. 1981. Т.21. №2. с.164-172.
10. Кузнецов П.С. Диагностика по Накатани и СВТ ЦИТО в клинике внутренних болезней // Тр. научной конференции университета, посвященной 60-летию со дня основания Рязанского государственного медицинского университета им. ак. И.П. Павлова на Рязанской земле. Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова. 2010. С. 185-188.

*Захаров Николай Анатольевич — канд. техн. наук, руководитель, Научно-производственное подразделение «Дозор» ОАО «Концерн КЭМЗ». Контактный телефон (495) 640-09-47. E-mail nazakharov@npp-dozor.ru*

<sup>1</sup> Иммерсивные технологии или технологии расширенной реальности включают виртуальную и дополненную реальность, а также 360°-видео. Они обеспечивают эффект полного или частичного присутствия человека в альтернативном пространстве.