

5.3.3 Психология труда, инженерная психология, когнитивная эргономика (психологические науки)

Научная статья

УДК 159.9

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

**Левченко Валерий Витальевич, Доктор педагогических наук, Профессор,
Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королева, Россия, Самара, Заведующий кафедрой
педагогики, v_levchenko88@mail.ru;**

**Новикова Елена Викторовна, Аспирант, Самарский национальный
исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Россия,
Самара, Аспирант кафедры педагогики, novikova_elena97@mail.ru;**

**Кондратьева Светлана Юрьевна, Кандидат психологических наук, Доцент,
Российский государственный педагогический университет им. А. И.
Герцена, Россия, Санкт-Петербург, Доцент кафедры
олигофренопедагогики, skondratieva@yandex.ru**

Аннотация. Настоящее исследование направлено на структурно-функциональный анализ операторской деятельности в автоматизированных системах управления, декомпозицию трудовых операций на когнитивные, моторные и регуляторные компоненты, выявление критических зон принятия решений в штатных и нештатных режимах и формулирование требований к проектированию рабочих процедур. Рассмотрение человека и технических средств как единого функционального контура составляет теоретико-методологическую основу разработки методик оценки распределения психических нагрузок и оптимизации человеко-машинного взаимодействия. Актуальность в условиях прогрессирующей автоматизации производственных процессов и смещения содержания труда в область информационно-аналитической деятельности обуславливает необходимость научного обоснования когнитивно-эргономических подходов, согласующих параметры

информационных потоков с адаптационными возможностями операторского звена. Операторская деятельность, интерпретируемая как динамическая система последовательных операций восприятия, оценки, выбора реакции и контроля, выступает объектом исследования в контексте обеспечения надежности управления технологическими комплексами. Основными результатами являются количественная оценка доли операциональных компонентов в различных режимах функционирования системы, установление зон повышенного когнитивного напряжения при конфликтующих сигналах, фиксация расхождений между нормативными и фактическими временными характеристиками выполнения задач и разработка критериев эргономической организации рабочих процедур. Проведенный анализ подтверждает положение о том, что устойчивость профессиональной деятельности обеспечивается согласованием архитектуры интерфейсов с закономерностями избирательного внимания, введением дифференцированных временных нормативов и структурированием информационных потоков, предотвращающим накопление ресурсного дефицита в условиях переменной информационной насыщенности.

Ключевые слова: операторская деятельность, автоматизированные системы управления, инженерная психология, когнитивная эргономика, структурно-функциональный анализ, принятие решений, нормативные временные характеристики, проектирование рабочих процедур.

Original article

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL ANALYSIS OF OPERATOR ACTIVITIES IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

**Levchenko Valery Vitalievich, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev,
Samara, Russia, Head of the Department of Pedagogy, v_levchenko88@mail.ru;**

**Novikova Elena Viktorovna, Postgraduate student, Samara National Research
University named after Academician S.P. Korolev, Samara, Russia,**

**Postgraduate student of the Department of Pedagogy,
novikova_elena97@mail.ru;**

**Kondratieva Svetlana Yuryevna, Candidate of Psychological Sciences, Associate
Professor, Russian State Pedagogical University named after A. I. Herzen,
Russia, St. Petersburg, Associate Professor of the Department of
Oligophrenopedagogy, skondratieva@yandex.ru**

Abstract. This study focuses on a structural and functional analysis of operator activity in automated control systems, decomposing work operations into cognitive, motor, and regulatory components, identifying critical decision-making zones in normal and abnormal conditions, and formulating requirements for the design of work procedures. Viewing humans and technology as a single functional unit provides the theoretical and methodological basis for developing methods for assessing the distribution of mental loads and optimizing human-machine interaction. This research, particularly in the context of the progressive automation of production processes and the shift of labor content toward information and analytical activities, necessitates the scientific substantiation of cognitive-ergonomic approaches that align information flow parameters with the adaptive capabilities of operators. Operator activity, interpreted as a dynamic system of sequential operations of perception, evaluation, response selection, and control, is the object of study in the context of ensuring the reliable control of technological complexes. The main results include a quantitative assessment of the proportion of operational components in various system operating modes, the identification of zones of increased cognitive strain with conflicting signals, the recording of discrepancies between normative and actual time characteristics for task performance, and the development of criteria for the ergonomic organization of work procedures. The analysis confirms the proposition that the sustainability of professional activity is ensured by aligning interface architecture with the patterns of selective attention, introducing differentiated time standards, and structuring information flows, preventing the accumulation of resource deficits under conditions of variable information saturation.

Keywords: operator activity, automated control systems, engineering

psychology, cognitive ergonomics, structural and functional analysis, decision making, standard time characteristics, design of work procedures.

Введение. Современное технологическое развитие сопровождается постепенным делегированием исполнительных функций аппаратным средствам, что изменяет содержание профессиональных задач персонала. Оператор автоматизированных систем управления осуществляет наблюдение за параметрами процесса, оценку их соответствия нормативным значениям и внесение корректирующих воздействий при возникновении форс-мажорных ситуаций. Трансформация трудовых операций сопровождается смещением когнитивных затрат в область непрерывной интерпретации сигналов, прогнозирования динамики объекта и поддержания готовности к быстрому вмешательству [1]. Инженерная психология фиксирует данные изменения как переход к информационно-аналитической деятельности, однако практические методики учёта новых требований к работникам остаются разрозненными [2].

Классические схемы оценки производительности персонала часто строятся на предположении о стабильном характере информационных потоков, что не соответствует реальной динамике производственных процессов. Рассогласование между алгоритмической логикой технических средств и особенностями человеческого восприятия порождает скрытые когнитивные напряжения, проявляющиеся в затруднённом распознавании комплексных признаков, увеличении времени реакции и постепенном истощении психических ресурсов. Существующие модели практически не учитывают взаимосвязь между архитектурой интерфейса, последовательностью технологических этапов и индивидуальными стратегиями обработки данных. Формализация структурных компонентов деятельности с одновременным анализом их функционального назначения выявляет критические зоны несоответствия, тем не менее, единый аналитический аппарат, связывающий психофизиологические показатели с параметрами системы управления, разработан недостаточно.

Структурно-функциональный анализ предполагает выделение обособленных элементов трудового процесса с последующим установлением их взаимозависимостей в рамках полного рабочего цикла. Приём информационных сигналов, оценка текущего состояния объекта, выбор варианта коррекции и реализация управляющего воздействия рассматриваются как последовательные звенья, каждое из которых предъявляет специфические требования к когнитивной пропускной способности и устойчивости внимания. Методологическая база исследования включает регистрацию временных параметров выполнения операций, фиксацию траекторий зрительного поиска, анализ паттернов мышечного напряжения и сопоставление полученных показателей с конфигурацией программно-аппаратного комплекса [3].

Основной задачей настоящего исследования выступает построение верифицированной модели, отражающей распределение функциональных нагрузок между человеком и автоматизированным контуром в условиях переменной информационной насыщенности. Научная новизна заключается в интеграции когнитивных метрик с параметрами эргономической организации рабочего пространства. В результате формируются критерии оптимального соотношения автоматизированного и ручного управления, а также определяются границы допустимого усложнения дисплейных средств без снижения надёжности выполнения задач. Полученные выводы корректируют методологию проектирования систем, ориентированных на сохранение когнитивного баланса оператора и минимизацию вероятности ошибочных действий при изменении режима работы оборудования.

Обзор литературы. Анализ профессиональной деятельности персонала автоматизированных систем управления строился на принципах системного подхода, предполагающем рассмотрение человека и технических средств как единого функционального контура. В работах по инженерной психологии основное внимание уделялось распределению функций между оператором и аппаратурой, что позволяло оптимизировать интерфейсы и снизить избыточную

нагрузку на исполнительные звенья [4-6]. По мере роста степени автоматизации исполнительные операции постепенно передавались программным алгоритмам, а содержание труда сместилось в область мониторинга, интерпретации сигналов и ситуационного прогнозирования. Данное изменение потребовало совершенствования существующих моделей оценки трудовых затрат, поскольку хронометражные методы не учитывают скрытые когнитивные процессы, протекающие в условиях непрерывного информационного потока [7-9].

Современные исследования в области когнитивной эргономики фиксируют необходимость разделения операторской активности на обособленные компоненты, каждый из которых предъявляет специфические требования к психическим ресурсам. При этом в научной литературе сохраняется пробел в систематизации взаимосвязей между когнитивными, моторными и регуляторными элементами труда, что затрудняет формирование единой методологии проектирования рабочих процедур. Отдельное внимание исследователей привлекает проблема рассогласования нормативных временных параметров и реальной динамики выполнения задач, особенно в условиях перехода от штатного функционирования системы к режимам отклонения. Анализ показывает, что критические точки принятия решений часто оказываются скрытыми внутри последовательностей операций, не фиксируемых стандартными регламентами [10]. Это определяет потребность в структурно-функциональном подходе, количественно оценивающем распределение нагрузок и выявляющем зоны повышенной уязвимости профессиональной деятельности.

Организация и методология исследования. Эмпирическая база исследования формировалась на основе моделирования деятельности операторов в условиях имитационного тренажера, воспроизводящего архитектуру современного автоматизированного комплекса управления технологическим процессом. В выборку вошли 24 специалиста со стажем работы в соответствующих системах не менее 3 лет, что обеспечивало достаточный

уровень сформированности профессиональных навыков. Процедура исследования включала регистрацию параметров выполнения стандартных циклов контроля и реакции на смоделированные нештатные ситуации, генерируемые с заданной частотой и интенсивностью. Для объективной фиксации операциональной структуры применялся комплекс программно-аппаратных средств, обеспечивающий непрерывную запись временных меток начала и завершения каждой операции, траекторий зрительного поиска и последовательности управляющих воздействий. Декомпозиция трудового процесса осуществлялась посредством алгоритмического выделения когнитивных, моторных и регуляторных компонентов на основании содержания выполняемых действий и степени вовлечения соответствующих психических функций. Когнитивные операции определялись как процессы восприятия, классификации сигналов и формирования рабочего образа, моторные компоненты фиксировались по характеру физических манипуляций с устройствами ввода, а регуляторные элементы оценивались посредством показателей самоконтроля, коррекции ошибок и адаптации к изменяющимся условиям. Нормативные временные характеристики извлекались из эксплуатационной документации системы, после чего проводилось их статистическое сопоставление с фактическими показателями, полученными в ходе экспериментальной серии. Выявление критических точек принятия решений базировалось на анализе паттернов задержек реакции, частоты повторных проверок параметров и соотношения успешных и ошибочных действий в различные фазы рабочего цикла. Обработка данных осуществлялась методами описательной статистики, дисперсионного анализа и кластеризации временных рядов, что установило устойчивые закономерности распределения нагрузок и сформулировало эмпирически обоснованные критерии оценки организации труда.

Результаты проведения исследования и их обсуждение. Проведенная декомпозиция операциональной структуры показала выраженную

неоднородность распределения компонентов деятельности, исходя из режима функционирования системы. В штатных условиях доля когнитивных операций составила основную часть рабочего цикла, что отражает информационно-аналитический характер современных задач. Моторные элементы сохраняли минимальный удельный вес, однако их выполнение требовало высокой точности и согласованности с поступающими сигналами. Регуляторные функции проявлялись в виде периодических проверок достоверности данных и корректировки стратегий мониторинга. При переходе к нештатным режимам структура претерпевала существенные изменения, потому что возрастала плотность регуляторных операций, усиливалась потребность в быстрой реорганизации когнитивных схем и роль моторного контроля при введении корректирующих воздействий. Закономерности наглядно представлены в таблице 1, где обозначено процентное соотношение компонентов в различных условиях эксплуатации.

Таблица 1 - Распределение операциональных компонентов в зависимости от режима функционирования системы

Режим работы	Когнитивные операции, %	Моторные операции, %	Регуляторные операции, %
Штатный	62,4	18,1	19,5
Нештатный	48,7	26,3	25,0

Источник: разработано авторами.

Снижение доли когнитивных элементов в нештатном режиме объясняется переходом от аналитической обработки к реактивному реагированию, при котором время на интерпретацию сигналов критически сокращается. Одновременное увеличение моторной и регуляторной составляющих свидетельствует о необходимости более активного вмешательства в процесс управления и повышения нагрузки на механизмы самоконтроля.

Выявление критических точек принятия решений показало, что в штатном цикле наиболее напряженными участками являются фазы первичной оценки

отклонений параметров и выбора стратегии коррекции. В нештатных режимах критическими становятся моменты одновременного поступления конфликтующих сигналов, требующих приоритизации действий и подавления автоматических реакций, сформированных в условиях нормальной эксплуатации. Схема функциональных связей (рисунок 1) иллюстрирует последовательность этапов принятия решений и зоны повышенного когнитивного напряжения, где фиксируется наибольшая вероятность ошибочных действий.



Рисунок 1 - Функциональная структура принятия решений оператором в автоматизированной системе управления (источник: разработано авторами)

Примечание: зоны критического напряжения: сопоставление с нормативом при поливариантных отклонениях; выбор реакции при дефиците времени; контроль результата при наложенных сигналах обратной связи.

Рассогласование между алгоритмической логикой системы и возможностями человеческого восприятия возникает на этапах сопоставления текущего состояния с эталонными значениями. В этих точках оператор сталкивается с необходимостью быстрой фильтрации второстепенных данных и выделения значимых признаков, что требует высокой когнитивной гибкости. При наложении дополнительных информационных потоков вероятность

пропуска критического параметра возрастает, поскольку механизмы избирательного внимания не успевают адаптироваться к изменяющейся плотности сигналов.

Сопоставление нормативных и реальных временных характеристик выполнения задач выявило устойчивое расхождение, достигающее в критических фазах 35% от регламентированных значений. Нормативные параметры, заложенные в проектной документации, исходят из предположения о линейном протекании процессов и стабильном информационном фоне, тогда как реальная деятельность характеризуется циклическими колебаниями интенсивности обработки данных. Фактические временные затраты возрастают при необходимости многократного подтверждения достоверности показаний и при переключении между разнородными интерфейсами. Указанные отклонения формируют скрытый ресурсный дефицит, который накапливается в течение рабочей смены и проявляется в постепенном снижении точности реакций. Количественная фиксация рассогласования подтверждает необходимость пересмотра хронометражных норм с учетом когнитивной специфики современных систем управления.

На основании полученных данных сформулированы требования к проектированию рабочих процедур, ориентированные на минимизацию структурных противоречий между техническими средствами и психологическими особенностями персонала. Архитектура интерфейса должна обеспечивать последовательное раскрытие информации, исключая одновременную подачу избыточных параметров. Последовательность операций проектируется с учетом естественных паттернов восприятия, что предполагает группировку логически связанных элементов и выделение приоритетных сигналов цветовыми и пространственными маркерами. В регламенты взаимодействия включаются обязательные интервалы верификации данных, позволяющие стабилизировать когнитивную нагрузку и предотвратить накопление ошибок. Требования к временным параметрам корректируются с

введением коэффициентов адаптации, отражающих реальную динамику переключения между режимами работы.

Выводы. Структурно-функциональный анализ операторской деятельности подтверждает выраженную зависимость распределения трудовых операций от текущего режима функционирования системы. В условиях стабильного технологического процесса преобладают информационно-аналитические функции, обеспечивающие непрерывный мониторинг параметров и формирование актуальной рабочей картины. Переход к нештатным ситуациям сопровождается трансформацией операциональной структуры, при которой возрастает доля регуляторных механизмов и усиливается роль моторного контроля. Подобная перестройка обусловлена необходимостью быстрого перераспределения психических ресурсов между параллельными потоками информации и подавлением устоявшихся алгоритмов реакции. Эмпирические данные фиксируют устойчивое смещение когнитивной нагрузки в область ситуативного прогнозирования и оценки вероятностных последствий.

Выявленные критические зоны принятия решений располагаются на этапах первичной интерпретации конфликтующих сигналов и выбора приоритетных корректирующих действий. В этих участках наблюдается наибольшее расхождение между нормативными временными параметрами, закрепленными в проектной документации, и фактическими показателями выполнения операций. Реальная динамика трудовой активности характеризуется циклическими колебаниями интенсивности обработки данных, которые не учитываются линейными хронометражными моделями. Накопление скрытых задержек на фазах верификации показаний и переключения между разнородными интерфейсами формирует прогрессирующий ресурсный дефицит, снижающий точность реакций по мере продолжения рабочей смены. Фиксация данных отклонений обосновывает необходимость введения адаптивных коэффициентов, отражающих когнитивную специфику современных систем управления и реальные возможности психической регуляции персонала.

Сформулированные требования к организации рабочих процедур базируются на принципах когнитивной эргономики, обеспечивающих согласование архитектуры технических средств с закономерностями человеческого восприятия. Проектирование интерфейсов должно исключать одновременную подачу избыточных параметров, заменяя ее последовательным раскрытием информации в соответствии с логикой технологического процесса. Включение буферных этапов верификации данных позволяет стабилизировать рабочую память и предотвратить накопление ошибок при высокой плотности поступающих сигналов. Корректировка временных регламентов осуществляется с учетом естественных паттернов избирательного внимания, что предполагает дифференциацию нормативов для штатных и переходных режимов эксплуатации. Подобный подход минимизирует структурные противоречия между алгоритмической логикой аппаратуры и возможностями оперативной переработки информации, повышая общую устойчивость профессиональной деятельности.

Полученные результаты расширяют методологическое основание инженерной психологии, предлагая измеримый аппарат для оценки соответствия когнитивных характеристик работника параметрам автоматизированной среды. Разработанная модель распределения функциональных нагрузок интегрирует психофизиологические метрики с эргономическими характеристиками рабочего пространства. Практическая реализация выявленных закономерностей находит применение в формировании адаптивных учебных программ, оптимизации пультов контроля и разработке стандартов когнитивного мониторинга персонала. Дальнейшее развитие направления связано с внедрением динамических алгоритмов перераспределения задач, учитывающих индивидуальные особенности обработки информации в условиях реальной эксплуатации, а также с созданием нормативной базы, регламентирующей допустимые пределы информационной насыщенности для различных категорий операторов.

Список литературы

1. Жилияков Е. В., Томус И. Ю., Монахова З. Н., Гузеева С. А., Петров Г. Л. Критериальный подход к профессиональному отбору оператора автоматизированной системы управления установки комплексной подготовки нефти и газа территориально-производственного предприятия «Когалымнефтегаз» // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2023. – №. 6 (162). – С. 88-97.
2. Никитин Н. В., Фрасын П. Г., Масанов Д. В. Анализ методов интеграции моделей машинного обучения в SCADA-системы // Инженерный вестник Дона. – 2025. – №. 6 (126). – С. 659-674.
3. Барабанщикова В. В., Бояринов Д. М., Мосейкин Д. И., Новикова Ю. А. Особенности изучения профессиональной деятельности операторов БПЛА // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. – 2026. – №. 1. – С. 224-245.
4. Спасенников В. В., Сударик А. Н., Федотов С. Н. Анализ эрготехнических результатов изобретательских решений в сфере тренажеростроения систем человек–техника // Психология и педагогика служебной деятельности. – 2024. – №. 2. – С. 67-75.
5. Сокольская М. В., Волкова А. А., Пекарь Е. В. Представление судоводителей о профессиональном обучении при прохождении тренажерной подготовки // Системная психология и социология. – 2024. – №. 1 (49). – С. 60-70.
6. Митрофанов М. В., Темников М. В., Коробка С. В., Кокошенко В. С. Методика рационального выбора средств аттестации операторов пунктов контроля // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – №. 7. – С. 102-108.
7. Чернецкая Е. Д., Леонова Е. В., Бессонова Ю. В., Андрюшина Л. О. Вероятность совершения ошибочных действий оперативным персоналом АЭС: роль длительности и интенсивности рабочей нагрузки // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. – 2026. – №. 1. – С. 246-272.

8. Сидоренко В. Г., Грачев Я. Л. Реализация комплексного статистического стегадетектора в рамках интеллектуальных транспортных систем // Автоматика на транспорте. – 2025. – Т. 11. – №. 3. – С. 226-238.
9. Бугорский М. А. Модель функционирования эргатической системы контроля информационного обмена // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2023. – №. 4 (22). – С. 37-44.
10. Чекалин В. В. Эргатический подход к проектированию обучающей среды в системе профессиональной подготовки судоводителей // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2025. – Т. 10. – №. 9. – С. 1336-1344.
11. Гулый И. М. Проекты цифровизации российских транспортно-логистических компаний–операторов транспортного рынка // Информатизация в цифровой экономике. – 2023. – Т. 4. – №. 4. – С. 431-442.

References

1. Zhilyakov E. V., Tomus I. Yu., Monakhova Z. N., Guzeeva S. A., Petrov G. L. Criteria-Based Approach to the Professional Selection of an Operator of the Automated Control System for the Integrated Oil and Gas Treatment Plant of the Kogalymneftegaz Territorial Production Enterprise // News of Higher Educational Institutions. Oil and Gas. - 2023. - No. 6 (162). - P. 88-97.
2. Nikitin N. V., Frasin P. G., Masanov D. V. Analysis of Methods for Integrating Machine Learning Models into SCADA Systems // Engineering Herald of the Don. - 2025. - No. 6 (126). - P. 659-674.
3. Barabanshchikova V. V., Boyarinov D. M., Moseykin D. I., Novikova Yu. A. Features of the study of professional activities of UAV operators // Bulletin of Moscow University. Series 14. Psychology. - 2026. - No. 1. - P. 224-245.
4. Spasennikov V. V., Sudarik A. N., Fedotov S. N. Analysis of ergotechnical results of inventive solutions in the field of simulator design of human-machine systems // Psychology and pedagogy of service activity. - 2024. - No. 2. - P. 67-75.
5. Sokolskaya M. V., Volkova A. A., Pekar E. V. Navigators' ideas about professional training during simulator training // Systems Psychology and Sociology. – 2024. – No.

1 (49). – P. 60-70.

6. Mitrofanov M. V., Temnikov M. V., Korobka S. V., Kokoshenko V. S. Methodology for the rational selection of means for certifying control point operators // Bulletin of Tula State University. Technical sciences. – 2022. – No. 7. – P. 102-108.

7. Chernetskaya E. D., Leonova E. V., Bessonova Yu. V., Andryushina L. O. Probability of erroneous actions by NPP operating personnel: the role of duration and intensity of workload // Bulletin of Moscow University. Series 14. Psychology. – 2026. – No. 1. – P. 246-272.

8. Sidorenko V. G., Grachev Ya. L. Implementation of a complex statistical stegodetector in the framework of intelligent transport systems // Automation in transport. - 2025. - Vol. 11. - No. 3. - P. 226-238.

9. Bugorskiy M. A. Model of functioning of an ergatic information exchange control system // Automation and modeling in design and management. - 2023. - No. 4 (22). - P. 37-44.

10. Chekalin V. V. Ergatic approach to designing a learning environment in the system of professional training of navigators // Pedagogy. Theoretical and Practical Issues. - 2025. - Vol. 10. - No. 9. - P. 1336-1344.

11. Guly I. M. Digitalization projects of Russian transport and logistics companies – operators of the transport market // Informatization in the digital economy. - 2023. - Vol. 4. - No. 4. - P. 431-442.

Статья поступила в редакцию 02.12.2025; одобрена после рецензирования 15.01.2026; принята к публикации 26.03.2026.

The article was submitted 02.12.2025; approved after reviewing 15.01.2026; accepted for publication 26.03.2026.