

2. Груданов, В.Я. Влияние процессов утилизации энергии отработавших газов на токсичность и эффективные показатели работы двигателей внутреннего сгорания / В.Я. Груданов, Г.И. Белохвостов, Л.Т. Ткачева // Горная механика и машиностроение. – 2023. – № 1. – С. 39–50.

3. Конч, С.А. Выбор основных концептуальных направлений проектирования глушителя шума-утилизатора теплоты отработавших газов двигателя внутреннего сгорания / С.А. Конч, Г.И. Белохвостов // Обеспечение безопасности жизнедеятельности на современном этапе развития общества : сборник материалов международной студенческой научно-практической конференции, Горки, 20–21 апреля 2023 г. – Горки : БГСХА, 2023. – С. 49–52.

4. Иванников, А.Б. Вторичное использование теплоты выхлопных газов двигателя для повышения эффективности функционирования агрегатов на примере коробки передач : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А.Б. Иванников ; ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет. – Новосибирск, 2017. – 18 с.

5. Акуленко, С.В. Использование теплоты отработавших газов в автофургонах для перевозки хлебобулочных изделий : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / С.В. Акуленко ; Могилевский технологический институт. – Могилев, 1995. – 21 с.

**Summary** The basic conceptual directions of utilization of heat of exhaust gases of internal combustion engines in recuperative heat exchangers of adjustable capacity for the purpose of improvement of noise and ecological characteristics of noise mufflers are formulated. It is assumed that the processes of exhaust gas energy recovery of reciprocating internal combustion engines improve the gas dynamic, acoustic and environmental characteristics of noise silencers, positively affect the effective performance of the engine, therefore, the noise silencer with a recuperative heat exchanger of adjustable capacity will have improved performance in these characteristics. The modular design principle of tractor noise mufflers is considered.

УДК 681.51

**Щурин К.В.**, доктор технических наук, профессор;

**Карлюк А.П.**, ассистент

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ «ЧЕЛОВЕК-ОПЕРАТОР» РАБОЧЕЙ МАШИНЫ НА НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

**Аннотация.** Производится исследование для формирования «профессионального портрета» человека-оператора в контексте положений, формирующих «технологический портрет» современных эргатических систем.

**Abstract.** A study is being carried out to form a “professional portrait” of a human operator in the context of the provisions that form the “technological portrait” of modern ergatic systems.

**Ключевые слова.** Надежность, безопасность, система человек-машина, человек-оператор, профессиональное мастерство, обучение, эргатическая система.

**Keywords.** Reliability, safety, man-machine system, man-operator, professional skill, training, ergatic system.

**Введение.** *Эргатическая система (ЭС)* представляет собой сложную систему, включающую в себя одушевлённые и технические звенья. Часто ЭС называют человеко-машинными системами (ЧМС) или системами человек-машина (СЧМ). Объективными причинами постановки проблемы надёжности ЭС и её изучения являются:

- непрерывное повышение уровня сложности технических систем;
- расширение диапазона и одновременное усложнение условий эксплуатации технических объектов;
- повышение требований к минимизации рисков при выполнении техническими объектами и системами технологических функций.

Под системой понимается комплекс элементов, которые взаимодействуют между собой для достижения определенной цели. Существует несколько способов классифицировать системы, и одним из них является степень участия человека в их работе.

**Контекст эргатических концепций.** В контексте эргатических концепций основными особенностями деятельности человека-оператора полагаются:

- субъект труда – человек-оператор находится не непосредственно у объекта труда, а контроль и управление объектом осуществляются с помощью органов управления и использованием его информационной модели;
- в процессе управления человеку-оператору приходится решать задачи, возникновения которых нельзя предвидеть.

Обеспечение надёжности системы «человек-машина», является главной задачей инженерной психологии; при этом уже не подвергается сомнению, что определяющее значение имеет надёжность человека-оператора. Ключевой эргатический фактор состоит в том, что, управляя современными техническими системами, оператор постоянно взаимодействует не с управляемыми объектами, а с их информационными моделями.

Таким образом, несмотря на недостатки, человек обладает уникальными способностями, которые делают его ценным оператором. Автоматизация управления только расширяет и усложняет его роль, делая его более интеллектуальным и социальным.

В рамках теории эргатики можно выделить следующие этапы процесса обучения:

1. Первоначальная адаптация человека к режиму работы в конкретной системе "человек-техника". На этом этапе формируется структура деятельности обучаемого, то есть определяются основные принципы и последовательность выполнения задач.

2. Отработка параметров структуры. На этом этапе обучаемый знает, что и в какой последовательности должен выполнять, но его действия еще не достаточно точны и своевременны. В процессе обучения уделяется особое внимание улучшению навыков и повышению качества работы.

3. Достижение статистически стабильного уровня сформированных в процессе обучения навыков. На этом этапе обучаемый достигает определенной стабильности и надежности в выполнении задач. Он может выполнять свои обязанности с высокой точностью и эффективностью.

4. Формирование устойчивых навыков через дополнительные циклы обучения. Этот этап предусматривает продолжение обучения и совершенствование навыков. Человек проходит дополнительные тренировки и циклы обучения, чтобы укрепить и улучшить свои умения и навыки.

Таким образом, эти этапы обучения в рамках эргатических концепций помогают человеку стать опытным и надежным оператором в системе "человек-техника".

Для мобильных транспортно-технологических машин обычно задаются значения коэффициента готовности  $K_T$ , среднего время пребывания объекта в работоспособном состоянии  $\bar{T}_p$ , наработки до первого отказа и средней наработки на отказ.

В общем случае градация изделий по классам надёжности представлена в таблиц.

Таблица – Классы надёжности

Класс надёжности	0	1	2	3	4	5
Допустимое значение $P(t)$	< 0,9	> 0,9	> 0,99	> 0,999	> 0,9999	1

В общем случае задача нормирования надёжности элементов сводится к оптимизации целевой функции, которая, в свою очередь, является функцией точечных значений оценок надёжности элементов:

$$G = G(P_i), \quad i = \overline{1, N},$$

где  $P_i$  – оценка надёжности  $i$ -го элемента;  $N$  – число элементов, входящих в систему.

**Категория последствий** оценивает степень серьезности тех последствий, к которым может привести отказ:

– I класс – отказ не приводит к травмированию персонала;

- II класс – отказ приводит к травмированию персонала;
- III класс – отказ приводит к серьезной травме или смерти;
- IV класс – отказ приводит к серьезным травмам или смерти группы людей.

В зависимости от характеристик "человеческого звена", можно выделить два класса искусственных систем:

**Моносистемы** – это системы, в которых участвует только один человек в сочетании с одним или несколькими техническими устройствами. В таких системах взаимодействие происходит между человеком и техническими устройствами, и человек играет ключевую роль в выполнении задач.

**Полисистемы** – это системы, в которых участвует коллектив людей в сочетании с комплексом технических устройств. В таких системах взаимодействие происходит между несколькими людьми и техническими устройствами. Коллектив людей работает вместе, чтобы достичь общей цели, используя технические устройства как инструменты поддержки и улучшения своей работы.

Говоря о влиянии психологических факторов на безошибочность работы человека-оператора, следует, прежде всего, выделить три аспекта этой проблемы:

- влияние индивидуальных психических качеств;
- влияние текущих психических состояний;
- влияние психических процессов, протекающих при реализации управляющих функций.



Рисунок 1 – Некоторые факторы, влияющие на надёжность работы человека

Надёжность деятельности человека в ЭС определяется надёжностью организма человека и надёжностью выполнения человеком функций по управлению техническими объектами, в том числе их обслуживанием. В

этой связи надёжность человека обычно представляют в двухкомпонентном виде – структурной и функциональной надёжности [1].

Под структурной надёжностью понимают свойство человека сохранять работоспособность в течение заданного времени в определенных условиях.

Функциональная надёжность определяется как свойство человека выполнять предписанные функции в соответствии с заданными требованиями в течение того же времени и в тех же условиях. Эта надёжность для инженерной практики имеет особое значение, поскольку она дает возможность оценить качество деятельности человека в конкретных ЭС.

На основании анализа исполнения регламентированного значения показателя надёжности выполнения программы деятельности специалистов в ЭС принимается решение о её соответствии требованиям в аспекте надёжности человеческого звена.

Проанализируем некоторые факторы (рисунок 1), формирующие показатели надёжности человеческого звена.

**Влияние на деятельность человека эмоциональной напряженности.** Изменение режима функционирования ЭС, вызванное отказами ее элементов, может привести к повышению эмоциональной напряженности операторов. В зависимости от характера отказа в распоряжении человека-оператора оказываются различные ресурсы времени на реализацию адекватной реакции и восстановление работоспособности системы [2].

Действие внутренней саморегуляции в сфере психоэнергетических процессов хорошо иллюстрируется известной в психологии кривой Иеркса-Додсона, связывающей продуктивность действий с активацией организма (рисунок 2).

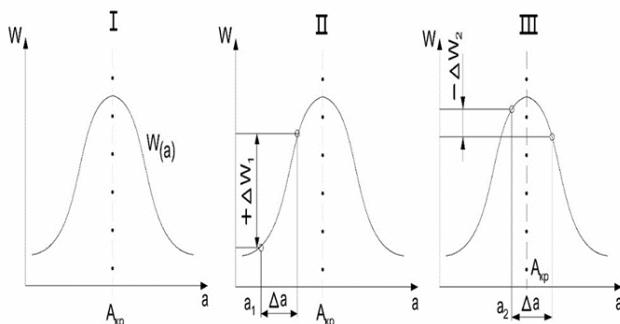


Рисунок 2 – Закон Иеркса-Додсона, связывающий активацию нервной системы с продуктивностью действий: II – приращение активации  $\Delta a$  ведет к приросту продуктивности  $\Delta W_1$ ; III – такое же приращение активации  $\Delta a$  ведет к снижению продуктивности  $\Delta W_1$

**Внимание.** Одним из главных показателей, определяющих способность человека-оператора к безошибочной работе, является качество его внимания. Под вниманием понимают способность к концентрации сознания на определенном объекте при одновременной отстройке от всех прочих объектов. Способность устойчиво концентрироваться на решаемой задаче и, в то же время, не реагировать на всякого рода шумы особенно важна для оператора.

**Эмоциональная устойчивость** характеризует способность субъекта сохранять достаточное самообладание и работоспособность при воздействии на него различных эмоциогенных факторов высокой значимости, связанных с его жизнью, ее условиями. Она проявляется в сдержанных эмоциональных реакциях на указанные дестабилизирующие факторы с сохранением управления и контроля за своим поведением и в способности адаптироваться, приспосабливаться к подобным воздействиям.

**Сенсомоторная координация.** Важным показателем способности оператора к безошибочной работе является его сенсомоторная координация. Под сенсомоторной координацией понимают динамическую взаимосвязь между воспринимаемыми сигналами и адекватными двигательными реакциями на них. В ней приоритетным фактором является восприятие сигналов, отражающих возникшую ситуацию; двигательный же ответ на них является, как правило, автоматизированным актом.

**Состояние здоровья.** При оценке состояния здоровья в данном случае имеют в виду не наличие простудных или инфекционных заболеваний, при которых работники обычно не допускаются к работе, а определённых хронических заболеваний, при которых человек признаётся трудоспособным, однако его функциональные возможности оказываются существенно сниженными.

**Алкогольное опьянение** существенным образом определяет состояние оператора и его склонность к совершению ошибок. При рассмотрении данного вопроса следует придать решающее значение вопросу самооценки человеком его состояния в зависимости от степени опьянения. В большинстве случаев люди достаточно объективно оценивают уровень своего опьянения, но их оценка влияния уровня своего опьянения на собственные функциональные возможности оценивается ими гораздо менее адекватно.

**Курение.** Наряду с опасностью употребления алкоголя, можно выделить ещё одну вредную привычку, негативно влияющую на состояние человека-оператора и на надёжность ЭС в целом – курение. Известно, что курят около 50 % людей. При этом существует мнение, что выкуренная сигарета позволяет человеку снизить уровень волнения и возбуждения, следовательно, снижает опасность совершения ошибок.

**Возраст.** Будем оценивать их по относительноному числу происшествий  $n_{\text{отн}}$ , представляющему собой отношение количества дорожных происшествий к пути, пройденному локомотивом за определенный срок, например, за один рейс.

На возрастной характеристике машинистов можно выделить следующие характерные точки: А, D – максимум ошибок и нарушений и О – минимум ошибок и нарушений; кроме того, точки В и С определяют границы приемлемого уровня ошибок по сравнению с минимальным [3].

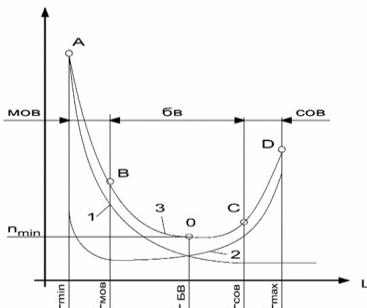


Рисунок 3 – Возрастные характеристики операторов-водителей мобильных машин:  
МОВ – младший опасный возраст; БВ – безопасный возраст;  
СОВ – старший опасный возраст; 1 – кривая накопления опыта вождения;  
2 – кривая моторного периода; 3 – суммарная кривая.

**Профессиональное мастерство** человека-оператора оказывает заметное, а порой и решающее влияние на надёжность управляемого технического объекта и ЭС в целом. Несомненно, эффективный по обеспечению надёжности стиль управления во многом формируется путем оптимально-целевой организации профессионального обучения и переподготовки.

В рамках эргатических концепций выделяют следующие этапы [4] процедуры обучения:

1. – первоначальная «приработка» человека к режиму работы в составе конкретной ЭС; на этом этапе формируется структура деятельности обучаемого;
2. – отработка параметров структуры, в пределах которых обучаемый узнаёт, какие операции и в какой последовательности следует выполнять, приобретает соответствующие умения, но действия его недостаточно точны и своевременны;
3. – достижение статистически стабильного уровня сформированных в процессе обучения умений и навыков путём тренировок;
4. – формирование устойчивых навыков дополнительными циклами обучения.

**Заключение.** Таким образом, при формировании "профессионального портрета" человека-оператора в контексте современных искусственных систем (ЭС), необходимо учитывать следующие требования к его надёжности:

1. Профессиональная пригодность, учитывающая антропологические и психофизиологические характеристики человека. Это включает

соответствие требованиям, предъявляемым к его физическим и психологическим возможностям.

2. Наличие необходимых знаний, умений и навыков, а также базового образования, которые требуются для выполнения профессиональных обязанностей в рамках ЭС.

3. Способность анализировать свою деятельность, обобщать полученные знания и опыт. Это позволяет улучшать производительность и повышать эффективность работы.

4. Желание приобретать дополнительные знания, умения и навыки через процессы обучения и самообучения. Это способствует постоянному развитию и совершенствованию профессиональных навыков.

5. Способность запоминать и воспроизводить полученную информацию и навыки до уровня интуитивных действий и подсознательной активности.

6. Адаптация к различным условиям работы и состояниям элементов ЭС. Отказ от привыкания к опасности и поддержание бдительности.

7. Умение компенсировать отказы элементов системы путем изменения своих действий. Отказ от умышленных действий, которые могут повысить риск серьезных сбоев.

8. Исключение повторения ошибок и статистических нарушений правил. Учение на опыте и стремление к постоянному улучшению эффективности работы.

9. Компенсация возрастного фактора и поддержание физической формы, а также отказ от вредных привычек и самолечения с препаратами, несовместимыми с профессиональной деятельностью.

#### **Список использованной литературы**

1. Северцев, Н.А. Системный анализ теории безопасности / Н.А. Северцев, А.В. Бецков. – М. : Теис, 2009. – 452 с.
2. Щурин, К.В. Надежность мобильных машин: учебник для вузов / К.В. Щурин, В.Е. Тарасенко. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 400 с.
3. Кузнецов, Е.С. Управление техническими системами : учебное пособие / Е.С. Кузнецов. – М. : МАДИ (ТУ), 1997. – 177 с.
4. Фугелова, Т.А. Инженерная психология : учеб. пособие для вузов / Т.А. Фугелова. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2019. – 316 с.

**Summary.** A study is being carried out to form a “professional portrait” of a human operator in the context of the provisions that form the “technological portrait” of modern ergatic systems.