

ОЦЕНКА «НАДЕЖНОСТИ» ЧЕЛОВЕКА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПАСНОСТЕЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

© 2021 Г.Н. Яговкин, А.А. Сидоров

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 02.06.2021

Проведен анализ деятельности человека в технологических системах и определены характеризующие ее параметры. Определена надежность работника при эксплуатации оборудования. Это позволяет минимизировать ошибки человека при эксплуатации технологических систем и обеспечить более высокий уровень его безопасности.

Ключевые слова: надёжность, человек, опасность, эксплуатация, технологическая система.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-5-113-119

Объектом охраны труда и промышленной безопасности является технологическая система, а предметом – основные закономерности возникновения и предупреждения происшествий при ее эксплуатации. Это утверждение вытекает в результате анализа литературы, касающейся проведения современных технологических процессов [1, 8, 13, 21], которые в большинстве случаев связаны как использованием технологического оборудования, так и людей, взаимодействующих с ним и окружающей средой.

Качество функционирования работающих зависит от параметров окружающей среды и принятой технологии, тогда как используемая технология и условия среды могут, в свою очередь изменяться в зависимости от качества функционирования технологического оборудования и человека [3, 4, 10]. Это объясняет использование в качестве объекта исследований технологической системы, в результате эксплуатации которой возникает опасность аварии и травмирования человека оборудованием технологической системы. Именно система представляет собой совокупность взаимодействующих компонентов и является в силу свойства эмерджентности качественно новым образованием, реализуя основополагающий принцип теории систем и системной динамики [3, 5, 8, 11, 13].

В пользу выбора в качестве объекта исследований технологической системы можно привести следующие доводы. Первый состоит в том, что она является общим для автоматизированных технологических процессов, которые в настоящее время являются в производстве основными [6, 11]. Второй заключается в том, что она

включает в себя всех носителей предпосылок к происшествиям – ошибок человека, отказов техники, неблагоприятных воздействий среды на человека и технику, недостаточной технологической дисциплинированностью работников, при этом среди них есть и основные причины возникновения опасности: опасные или ошибочные действия человека и отказы оборудования чаще всего происходящие в процессе его эксплуатации [10, 12, 14, 17].

В общем виде модель функционирования технологической системы представлена на рис 1. Она включает в себя работающих (человека-Ч), технологическое оборудование (машину-М), рабочую среду (среду-С), взаимодействующих между собой по заданной технологии и установленной организации работ (технологии-Т), $I(t)$ – входные и ограничивающие воздействия на систему, $E(t)$ – выходные воздействия системы на внешнюю среду (полезное – продукт, вредное – результаты функционирования), $K(t)$ – средства, вырабатывающие корректирующие воздействия.

Действия человека в технологической системе характеризуются его надёжностью, т.е. способностью к сохранению заданной эффективности работы при усложнении окружающей обстановки [16].

При оценке надежности учитывают следующие факторы [20]:

- долговременную выносливость;
- устойчивость к воздействию факторов рабочей среды (шум, освещенность и т.п.);
- работоспособность в экстремальных условиях;
- спонтанная отвлеченность;
- переключаемость.

Надежность человека в технической системе характеризуется основными факторами (эффективностью деятельности и безошибочностью) и вспомогательными (готовностью, восстанавливаемостью и своевременностью) [2].

Яговкин Герман Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность и сертификация производств». E-mail: bjd@list.ru
Сидоров Артем Александрович, аспирант кафедры «Техносферная безопасность и сертификация производств». E-mail: artemsidorov97@yandex.ru

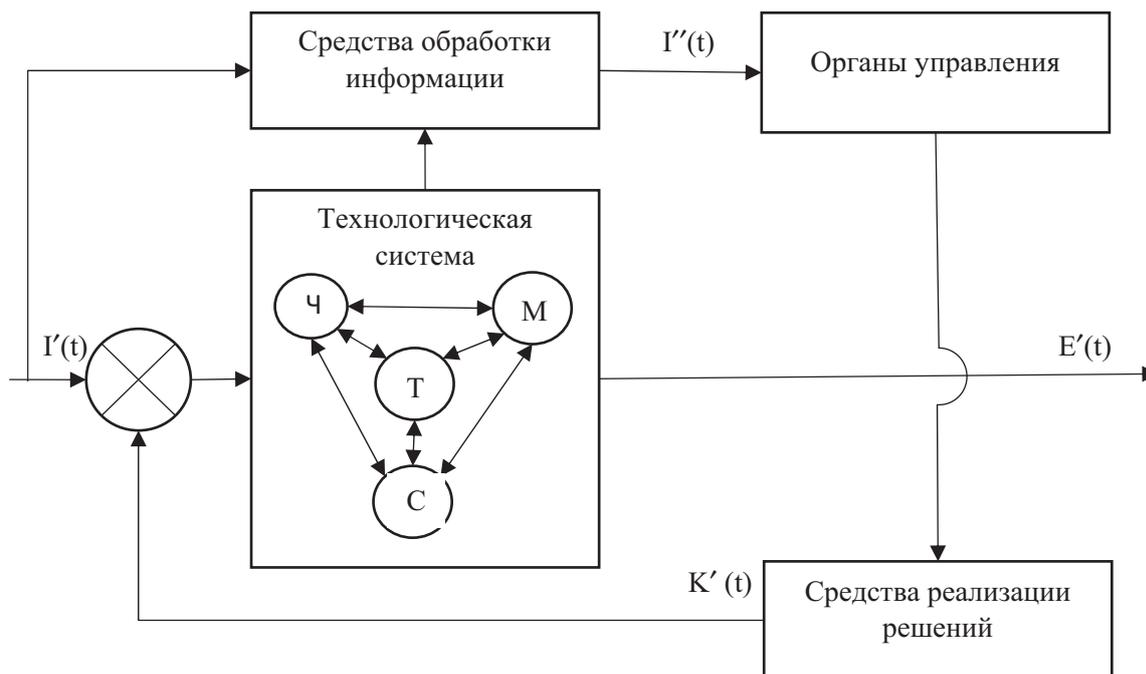


Рис. 1. Модель функционирования технологической системы

Фактор безошибочности применяется при интегральной оценке деятельности человека и определяется следующим образом.

Вероятность безошибочных действий человека при взаимодействии с технической системой при условии независимости ошибок будет

$$P_{on} = \sum_{i=1}^m p_i \cdot p_{on/i},$$

где p_i – вероятность наступления i состояния технологической системы;

$P_{on/i}$ – условная вероятность безошибочности работы человека в i состоянии;

m – число возможных состояний технологической системы

$$P_{on/i} = \prod_{j=1}^{\chi} p_i^{k_j} \approx e^{-\sum_1^{\chi} \Lambda_j j \tau} = e^{-\sum_1^{\chi} (1-p_j)^{k_j}},$$

где K_j – число выполненных операций j -го вида; χ – число различных видов операций $j = (1, 2, \dots, \chi)$;

Λ_j – интенсивность ошибок;

τ_j – среднее время выполнения операции j -го вида;

p_j – вероятность безошибочного выполнения операций j -го вида;

p_j и Λ_j находятся статистически по следующим формулам [22].

$$p_j = \frac{N_j - n_{omj}}{N_j}; \Lambda_j = \frac{n_{omj}}{N_j \tau_j}$$

где N_j , n_{omj} – общее число выполненных операций j -го и допущенных при этом число ошибок.

В некоторых случаях деятельность человека требуется оценить поэтапно, например, при воздействии на него стресс факторов (шума, дефицита времени, гиподинамии и др.) В этом случае в качестве оценки надежности используют показатель «эффективность деятельности человека».

Деятельность человека в технологических системах сводят к четырем последовательно реализуемым этапам (см. рис. 2) [7].

На первом этапе человек осуществляет восприятие информации о состоянии объекта управления.

Второй этап деятельности человека заключается в оценке информации, ее анализе и сравнении с заданными значениями контролируемых параметров объекта управления.

На третьем этапе человек решает задачу выработки стратегии управления.

Четвертый этап включает операции, совокупность которых обеспечивает приведение принятого решения в исполнение.

Каждый из видов деятельности человека-оператора имеет свою специфику. Первоначально он следит за поведением управляемого объекта, т. е. характеристиками, определяющими качество управления. Этими характеристиками могут быть температура, давление, напряжение и т.д. в зависимости от типа, управляемого устройств. Специфика эта вида деятельности требует от человека быстро перехода от одних видов представления информации к другим и требует повышенного внимания.

Формализовано эти положения реализуются следующим образом.



Рис. 2. Модель деятельности человека в задачах управления безопасностью в технологических системах

1. Скорость перехода от n -го вида представления информации к m -му виду (например, от системы счисления с основанием n к системе с основанием m) максимальна, т.е.

$$V [p(n) \rightarrow p(m)] = V_{max}$$

2. Повышенное внимание Ψ_{max} ведет к предельной нагрузке Hr_{max} и к быстрому утомлению оператора, т.е. максимальной скорости уменьшения градиента его зрительной работоспособности B , что может быть представлено как

$$\Psi_{max} \rightarrow Hr_{max} \rightarrow -(dB/dt)_{max}$$

Далее в деятельности человека преобладают элементы анализа фактической информации, полученной от управляемого объекта или процесса, сравнения ее с информацией принятой за эталонную для заданного режима работы технологической системы или режима управления.

На данном этапе осуществляются следующие операции [23]:

а) сравнение фактических и номинальных значений параметров управления, и оценка знака отклонения фактических значений от номинальных;

б) сравнение производных параметров, по которым осуществляется управление;

в) выбор номинальных значений параметров управления в пределах допустимого периода времени.

Сложность работы человека на данном этапе

определяется числом параметров k , по совокупности значений которых делается заключение о состоянии управляемого объекта, т.е. размерностью вектора $s = s(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k)$.

На этом этапе наиболее трудно реализуемы на практике являются следующие процедуры [19]:

- своевременный и правильный выбор из памяти необходимой информации, характеризующей «идеальный» процесс управления;
- оценка сложившейся ситуации, реализуемая на основе сравнения совокупности признаков с соответствующей областью их ограничений и требующая от операторов наиболее высокой профессиональной подготовки.

Комплексная оценка эффективности деятельности человека на I и II этапах может быть осуществлена по числовым значениям одного или нескольких показателей качества реализации процедуры слежения, например по среднему квадратическому отклонению ошибки слежения, по числу максимально допустимых отклонений параметров слежения за заданный интервал времени, по дисперсии и математическому ожиданию ошибок слежения и т.д. с использованием выражений:

$$\sum_{i=1}^k (\delta_{i\text{доп}} - \delta_{i\text{факт}})^2 \leq D_{\text{доп}};$$

$$\sum_{j=1}^1 (x_{j\text{ф}} - \Delta x_{j\text{доп}}) \leq D_{\text{доп}}^*;$$

$$D_{\text{доп}} \leq \int_{t_0}^{t_p} \left[\left(\frac{dx_{\text{ф}}}{df} - \frac{dx_{\text{н}}}{dt} \right) - \delta_{\text{доп}} \right]^2 dt \text{ при } \tau_{\text{доп}}, q = 0,$$

и – (dB/dt)min на интервале времени ($t_p - t_0$), где x – условное обозначение отслеживаемых параметров.

В общем случае задачи связаны с оценкой технического состояния объекта контроля (проверяемой системы) решаются человеком эвристически [15] в определённой последовательности:

- в порядке поступления информации осуществляется ее сбор, аналитически представляемый зависимостью

$$V_{y_1, \dots, y_{k-1}}(k) = \frac{1}{t_k} \sum_{y_k} P_{y_1, \dots, y_{k-1}}(y_k) \left[\sum_{\mu} \{P_{y_1, \dots, y_k}(\mu)\} \times \log_2 \{P_{y_1, \dots, y_k}(\mu)\} - \sum_{\mu} (P_{y_1, \dots, y_{k-1}}(\mu)) \log_2 \{P_{y_1, \dots, y_{k-1}}(\mu)\} \right];$$

- информация накапливается и упорядочивается в соответствии с выражением

$$\{P_{y_1, \dots, y_k}(\mu)\} = \frac{\{P_{y_1, \dots, y_{k-1}}(\mu)\} P_{\mu, y_1, \dots, y_{k-1}}(y_k)}{\sum_{\mu} \{P_{y_1, \dots, y_{k-1}}(\mu)\} P_{\mu, y_1, \dots, y_{k-1}}(y_k)};$$

- на основании полученной информации делается вывод о месте или причине неисправности

$$\{P_{y_1, \dots, y_k}(\mu = \mu^*)\} \geq 1 - \Delta,$$

где μ – условный индекс причины или места неисправности;

k – k -й по порядку восприятия образ-носитель диагностической информации, например, решение тестовой задачи, электрический, акустический и другие сигналы;

y_k – результат соотнесения k -го носителя информации с эталоном ($y_k = 0$ – носитель совпадает с эталоном, $y_k = 1$ – противоположный результат);

t_k – время получения специалистом, реализующим процедуру диагностики, k -го носителя информации;

$V_{y_1, \dots, y_{k-1}}(k)$ – объем диагностической информации, собираемой специалистом с k воспринимаемых последовательно носителей;

$\{P_{y_1, \dots, y_k}(\mu)\}$ – распределение вероятностей возможных диагнозов после восприятия специалистом k носителей информации;

$P_{\mu, y_1, \dots, y_{k-1}}(y_k)$ – вероятность того, что человек, проводящий диагноз, безошибочно извлечет информацию из k -го носителя о месте или причине неисправности, имеющей условный индекс μ ;

Δ – мера риска человека в выборе диагноза μ^* при недостатке информации.

Если по результатам диагноза появляется возможность возникновения аварийной обстановки или непосредственно она, то необходимо оценить качество психологической подготовки человека.

Качество психологической подготовки человека по возможности его деятельности в условиях аварийной обстановки целесообразно оценивать по трем типам аварийных ситуаций,

в существенной мере отличающихся по специфике и силе эмоционального воздействия на психику человека [18]:

I – по ситуациям, изученным заранее, но возникающим внезапно;

II – по ситуации, предварительно не проигранным, не осмысленным и возникающим на основе внезапного появления ранее не встречавшихся сочетаний отказов и неблагоприятных стечений обстоятельств;

III – по ситуациям, в которых возникает непосредственная угроза здоровью или жизни членов рабочей группы, эксплуатирующей объект управления.

Для первого типа аварийных ситуаций

$$P[A_i(\tau)] = P(\tau \leq \tau_{доп}) \neq 1; \quad H = 0;$$

для второго

$$P[A_i(\tau)] \neq 1; \quad H > 0;$$

и, наконец, для третьего

$$P[A_i(\tau)] \neq 0; \quad H \geq 0,$$

где $P[A_i(\tau)]$ – вероятность того, что i -я аварийная ситуация A появится в пределах допустимого интервала времени $\tau_{доп}$;

$P(A_i)$ – вероятность того, что в результате появления i -й аварийной A возникает непосредственная угроза здоровью или жизни членов рабочей группы (индекс «б» обозначает «безопасность»);

H – энтропия появления, развития и локализации ситуаций, представляющая собой степень неопределённости наших знаний о характере развития аварийных ситуаций и мерах по их предупреждению или локализации.

При оценке подготовленности человека для работы в аварийной обстановке необходимо учитывать своевременность опознания человеком причин, которые привели к появлению аварийной обстановки; своевременность и правильность принятия решения об отнесении данной аварийности ситуации к одному из трех указанных типов с целью формирования у него концептуальной модели деятельности, включающей оценку обстановки (создание внутренней модели внешней среды) и разработку плана деятельности, и, наконец, правильность прогнозирования развития событий и эффективность действий, направленных на локализацию или ликвидацию аварийных ситуаций.

В соответствии с этим представляется целесообразным в качестве критериев такой оценки выбрать:

время τ_0 опознания человеком причин, которые привели к появлению аварийной обстановки;

время $\tau_{пр.р}$ принятия решения об отнесении данной аварийной ситуации к типу I, II или III;

вероятность $P(A_i, \tau \rightarrow I, II, III)$ того, что i -я

$V(t_n)$ – вероятность того, что время реализации η частного алгоритма не превысит допустимого значения.

Основным источником происшествий в промышленности является технологическая система, т.к. содержит технологическое оборудование, которое является источником опасности и человека, его обслуживающего, который в результате отказа оборудования получает повреждение. Чаще всего повреждение человека происходит в результате его ошибочных или опасных действий. Правильность действий человека оценивается его надежностью – способностью сохранять заданную эффективность деятельности. Первый фактор определяется для деятельности в целом, а второй при разбиении ее на этапы. Проведен анализ деятельности человека в технологических системах и определены оба параметра ее характеризующих. Это позволяет минимизировать ошибки человека при эксплуатации технологических систем и тем самым обеспечить более высокий уровень его безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абросимов А.А.* Управление промышленной безопасностью. М.: КМК Лтд., 2000.
2. Аварии и несчастные случаи в нефтяной и газовой промышленности России [под ред. Ю.А. Дадонова, В.Я. Кершенбаума]. М.: АНО «Технонефтегаз», 2001. - 213 с.
3. *Аношкин Д.В., Васильев А.В.* Обеспечение безопасности труда в условиях металлургического производства с использованием автоматизированных систем // В сборнике: YOUNG ELPIT 2013 Международный инновационный форум молодых ученых: В рамках IV Международного экологического конгресса (VI Международной научно-технической конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» ELPIT 2013: сборник научных докладов. Научный редактор А.В. Васильев. 2014. С. 20-23.
4. Безопасность России. Анализ риска и проблем безопасности. В 4-х частях / Научн. руковод. К.В. Фролов. М.: МГОФ «Знание», 2006 - 2007.
5. Безопасность России. Анализ рисков и управление безопасностью (Методические рекомендации). / Рук. авт. кол-ва Н.А. Махутов, К.Б. Пуликовский, С.К. Шойгу. М.: МГОФ «Знание», 2008.
6. *Белов П.Г.* Управление рисками, системный анализ и моделирование: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / П. Г. Белов. — М.: Издательство Юрайт, 2014. — 728 с.
7. *Бычков И.В.* Системный анализ динамики технического состояния механической системы / Бычков И.В., Николайчук О.А., Юрин А.Ю. // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» – 2015. – С 60-65.
8. *Васильев А.В.* Особенности обеспечения системной инженерии безопасности // В сборнике трудов первой международной научно-технической конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» ELPIT-2003, г. Тольятти, 11-14 сентября 2003, с. 296-299.
9. *Васильев А.В.* Повышение безопасности жизнедеятельности информационно-программными методами // Автотракторное электрооборудование. 2004. № 11. С. 34-37.
10. *Васильев А.В., Аношкин Д.В.* Человеческий фактор как причина аварийности и травматизма на производстве и его анализ на основе принципов системного подхода к обеспечению безопасности // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 11. С. 22-25.
11. *Васильев А.В., Вильч Н.В.* Разработка мероприятий по снижению негативного воздействия на человека смазочно-охлаждающих жидкостей с использованием метода «Дерево событий» // В сборнике: ELPIT 2013 Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов. Сборник трудов IV Международного экологического конгресса (VI Международной научно-технической конференции), научный редактор А.В. Васильев. 2013. С. 91-94.
12. *Васильев А.В., Рябов В.М., Васильева Л.А.* Эргономика и эстетика рабочего места оператора ЭВМ. Организация режима труда и отдыха. Учебное пособие. Тольятти, 1997.
13. *Васильев А.В., Фенюк Н.А.* Система обеспечения безопасности труда при эксплуатации электроустановок // В сборнике: XV Всероссийская конференция «Химия и инженерная экология» с международным участием. Сборник докладов. Казань, 2015. С. 135-138.
14. *Васильев В.А., Яговкин Н.Г.* Информационная поддержка принятия управленческих решений в системах управления экологией и безопасностью // Переводной научный журнал «Академический вестник ЭЛПИТ». – 2018. Т. 3. № 2. С.13-22.
15. *Волков Д.А.* Модель оценки надежности многоуровневой автоматизированной системы диспетчерского управления транспортом газа // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности – 2016. – С 20-23.
16. *Гражданкин А.И.* Оценка техногенного риска и оптимизация мер безопасности опасных производственных объектов // Материалы 8-й международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем». М.: ИПУ РАН. - 2000. - С.27-28.
17. *Гражданкин А. И., Белов П. Г.* Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. 2000. - № 11. С. 6 - 10.
18. *Гражданкин А.И., Фёдоров А.А.* К вопросу об оценке риска при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов // Безопасность жизнедеятельности. 2001. - № 4. - С. 2-6.
19. *Кучина О.П.* Эргономические показатели эффективности деятельности субъекта в процессе тестирования // Вестник бурятского государственного университета. – 2009. – С. 49-51.
20. *Переездчиков И.В.* Анализ опасностей промышленных систем человек-машина-среда и основы защиты: учебное пособие. М. : КНОРУС, 2011. -784 с.
21. *Фенюк Н.А., Васильев А.В.* Особенности обеспе-

- чения безопасности труда при эксплуатации электроустановок // В сборнике трудов международного инновационного форума молодых ученых YOUNG ELPIT 2015 в рамках пятого международного экологического конгресса (седьмой международной научно-технической конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» ELPIT-2015. Научный редактор Васильев А.В. С. 326-331.
22. Чербачи, Ю.В. Возможность использования имитационного моделирования при оценке риска аварий, вызванных функционированием промышленных производств / Ю. В. Чербачи, Ю. Ю. Старчик // Строительные и дорожные машины. – 2017. – №8. – С. 48-52.
23. Цугленок Н.В. Повышение безопасности технологических систем АПК / Цугленок Н.В., Чепелев Н.И., Пыханова Е.В. // Вестник КРАСГАУ – 2003. – С 18-20.

ASSESSMENT OF “RELIABILITY” HUMAN IN DETERMINING THE HAZARDS ARISING FROM THE OPERATION OF A TECHNOLOGICAL SYSTEM

© 2021 G.N. Yagovkin, A.A. Sidorov

Samara State Technical University, Samara, Russia

The technological systems human activity analysis is carried out and its parameters are determined. The person equipment operation reliability has been determined. This makes it possible to minimize human technological systems operation errors and ensure the human safety higher level.

Key words: assessment, reliability, human, hazards arising, operation, technological system.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-5-113-119