

УДК 504.03

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

© 2021 М.А. Кривова, Е.В. Романцова

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 02.06.2021

Построена модель формирования действий персонала при эксплуатации оборудования на производстве. В результате получена зависимость, характеризующая вероятности совершения человеком безошибочных действий при эксплуатации оборудования технологических систем.

Ключевые слова: персонал предприятия, техносферная безопасность, технологические системы.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-5-64-68

Обеспечение техносферной безопасности на производстве является важной народнохозяйственной проблемой, которой посвящено значительное количество научных работ отечественных и зарубежных ученых [1-3]. Ими решено большое количество возникающих проблем. Но задача нахождения безошибочных действий персонала предприятия при эксплуатации технологического оборудования требует дальнейшей проработки, поскольку неправильные действия могут привести к аварии, последствия которой выливаются в серьезный ущерб для окружающей среды.

Содержание деятельности персонала при выполнении технологического процесса определяется ее образующими [4, 15]:

- мотив;
- цель;
- обработка информации;
- диагностирование неисправности;
- планирование мероприятий, устраняющих неисправность;
- построение концептуальной модели действий;
- принятие решений по устранению неисправности;
- реализация решений и оценка их эффективности.

Описание этой деятельности осуществляется в виде ветвящейся модели [5], которую можно охарактеризовать как направляющую, если она жестко регламентирована. Она не содержит построение модели выбора и планирования деятельности:

- чаще всего человек действует целеустремленно, если его деятельность характеризуется

Кривова Маргарита Андреевна, аспирант кафедры «Техносферная безопасность и сертификация производств». E-mail: makrivotva@bk.ru

Романцова Екатерина Валентиновна, аспирант кафедры «Техносферная безопасность и сертификация производств». E-mail: bjd@list.ru

выбором действия, т.е. изменяет свое поведение в зависимости от состояния внешних условий. Его состояние определяют четыре компонента: сам человек, делающий выбор;

- ситуация (окружения) выбора S;
- возможные способы действий C_i;
- возможные в данной ситуации результаты O_j.

Параметры состояния технологической системы будут:

- P_i – вероятность выбора человеком способа действий C_i, соответствующего ситуации S;
- E_{ij} – эффективность способа действий;
- V_j – полезность результата O_j.

Система управлений, связывающая элементы модели следующая

$$P_i = f[\{K_{ip}\}, \{C_i\}, \{O_j\}, v_i, S],$$

$$E_{ij} = f[\{K_{ip}\}, \{C_i\}, \{O_j\}, S],$$

$$V_j = f[\{C_i\}, \{O_j\}, v_i, S],$$

где, V_j – полезность результатов.

Одна группа фактов связана с человеком, другая с технологическим оборудованием.

Механизм, побуждающий человека к тем или иным действиям формируется на врожденных и приобретенных опасностях и временных состояниях [6], а влияют на принятие решений надежность оборудования, режим работы технологического процесса, состояние санитарно-гигиенических условий труда и уровень организации безопасностей деятельности [7].

Врожденные особенности определяются состоянием анализаторов человека (слух и зрение), двигательной и психомоторной системы (мышечная сила, скорость и координация движений). Интегральный показатель качества работы анализаторов человека может быть представлен в виде [8]:

$$\eta^* = \frac{\sum_{i=1}^{k_1} X_i^{(\eta_1)} K_i^{(\eta_1)}}{k_1} + \frac{\sum_{j=1}^{k_2} [M_j^{(\Delta\eta_2)} + 3\sigma_j^{(\eta_2)}] K_j^{(\eta_2)(\eta_1)}}{k_2},$$

где k_2 – число заданных основных параметров, определяющих временные характеристики данного режима управления технического процесса; k_1 – число основных параметров определяющих точность выдерживания режима в определенных точках; $X_i^{(\eta_1)}$ – моментальные отклонения основных параметров управляемого процесса в определенных точках; $M_j^{(\Delta\eta_2)}$, $\sigma_j^{(\eta_2)}$ – статистические показатели, отражающие средние отклонения j параметров техпроцесса от заданных значений и их вариантность; $K_i^{(\eta_1)}, K_j^{(\eta_2)}$ – весовые коэффициенты, соответствующие заданным точностным и временным параметрам управляемого техпроцесса; $(\eta_1), (\eta_2)$ – индексы, отражающие принадлежность входящих в формулу параметров к точностным и временным характеристикам управляемого человеком технологического процесса соответственно.

При непрерывном управлении технологических процессом, связь между воспринимаемой человеком информацией, т.е. входным сигналом x , и его моторными действиями, т.е. выходным сигналом y , может быть описана системой линейных дифференциальных уравнений. Если реализуемый человеком закон управления имеет несколько характерных участков, то в модели деятельности предусматривается переключение с одной системы дифференциальных уравнений на другую. Каждому такому участку соответствует своя передаточная функция человека-оператора $W=dy/dx$, которая является интегральным показателем двигательной и психомоторной системы.

Вид передаточных функций, а следовательно, и вид дифференциальных уравнений, определяется конкретно реализуемым законом управления и обычно устанавливается на основе экспериментальных данных методами, широко используемыми в теории автоматического управления [9].

В большинстве случаев передаточная функция человека имеет вид [10]:

$$W(p) = \frac{ke^{-\tau p}(T_{\phi p} + 1)}{(T_{и.ор} + 1)(T_{нмр} + 1)},$$

где T_{ϕ} – коэффициент форсирующего звена; $T_{и.о}$ – коэффициент интегрирующего звена, обусловленного инерционностью обработки человеком входной информации и принятия решения; $T_{нм}$ – коэффициент интегрирующего звена, обусловленного нервной-мышечной задержкой человека; τ – чистое латентное запаздывание, определяемое тренированностью человека-оператора; $\frac{T_{\phi p} + 1}{T_{и.ор} + 1}$ – оператор, харак-

теризующий стабилизирующие свойства человека в системе ЧТ; $e^{-\tau p}$ -оператор, учитывающий естественную задержку реакции человека; $\frac{1}{T_{нмр} + 1}$ – оператор, отслеживающий динамику

нервно-мышечной системы человека.

Приобретенные особенности характеризуются обученностью человека. Состояние обученности оценивается как удовлетворение правил остановки процесса обучения либо по среднему значению мера успеха, либо по разбросу меры успеха.

Первый случай состоит в выполнении неравенства:

$$|\Delta Y_k - \Delta Y_n| \leq \vartheta_y;$$

$$\Delta Y_k = Y[(n+1)+k] - Y(n+k);$$

$$\Delta Y_n = Y(n+1) - Y(n),$$

где ϑ_y – допустимая погрешность оценки меры успеха; k – число циклов решения данной задачи, необходимое для достижения требуемой устойчивости навыка и определяемое для каждой задачи или класса задач на основании опыта; $\Delta Y_n, \Delta Y_k$ – приращение меры успеха за один цикл решения данной задачи при условии, что до этого было выполнено соответственно n и $n+k$ циклов ее решения.

Во втором случае процесс обучения останавливается при выполнении неравенства

$$\sigma(n) \leq \sigma_{пор}; \quad |\Delta \sigma_k - \Delta \sigma_n| \leq \vartheta_{\sigma},$$

где $\sigma_{пор}$ – пороговое значение среднего квадратичного отклонения локальной меры; $\Delta \sigma_k = \sigma[(n+1)+k] - \sigma(n+k)$; $\Delta \sigma_n = \sigma(n+1) - \sigma(n)$; ϑ_{σ} – допустимая погрешность оценки среднего квадратического отклонения локальной меры $Y(n)$.

Работоспособность человека характеризуется факторами вработываемости и утомления и представляет собой экспоненциальную функцию, которая имеет вид [11]

$$R_{(t)} = V(1 - e^{-N_1 t}) + W(-1 + e^{-N_2 t}),$$

где $R_{(t)}$ – функция работоспособности;

V, W – наибольшие величины вработываемости и утомляемости;

N_1 и N_2 – коэффициенты, учитывающие скорость приближения V и W к предельным значениям.

Ошибочные действия персонала возникают при разнице наступления и окончания периодов неустойчивой работоспособности.

Первая точка t_1 находится, если взять первую производную от $R_{(t)}$ и приравнять ее к нулю:

$$t_1 = \frac{1}{N_2 - N_1} \ln \frac{W \cdot N_2}{V \cdot N_1},$$

Вторая точка t_2 – может быть найдена при взятии второй производной и также приравненной к нулю:

$$t_2 = \frac{1}{N_2 - N_1} \ln \frac{W * N_2^2}{V * N_1^2}.$$

Расстояние между t_1 и t_2 - период неустойчивой работоспособности человека.

Техническая надежность оборудования определяется характеристиками его элементов, наличием блокировок и других защитных устройств. Количественно она выражается вероятностью безотказности работы оборудования $P_{(τ)}$ в течении некоторого промежутка времени [12]:

$$P_{(τ)} = P(T > τ),$$

где T – время безотказной работы оборудования, больше заданного времени $τ$.

Оборудование может работать в двух режимах: нормальном и аварийном, т.е. при наличии его отказа.

Действия человека после появления непредвиденных отказов носят случайный характер, как по своей последовательности, так и по времени выполнения. Поэтому для выявления наиболее вероятных ошибок и операций, создающих дефицит времени, целесообразно воспользоваться вероятностными методами.

Для модельного описания человека при отказах, развивающихся в форме случайного процесса, удобно использовать математический аппарат теории массового обслуживания. Исследование действий человека при этом можно внести в следующей методике [13]:

- набирают статистику по действиям при отказах;
- строят графы для каждого отказа с включением с состояний, в которые была приведена система человеком при устранении или локализации отказа;
- по значениям чистоты появления состояний и времени между переходами системы из состояния в состояние определяют плотность вероятности перехода технологической системы из нормального состояния в аварийное:

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{ij}(\Delta t)}{\Delta t},$$

где $P_{ij}(\Delta t)$ – вероятность того, что система, находящаяся в состоянии s_i , за время Δt перейдет в состояние s_j , $i \neq j$.

С учетом проданных вероятностей находят среднее относительное время пребывания технологической системы в определенном состоянии для установившегося режима. Это позволяет в зависимости от характера отказа судить о возможностях человека по его локализации.

Вредные факторы санитарно-гигиенических условий труда могут отрицательно влиять на незащищенные части оборудования и проводить к преждевременному выходу его из строя. Это в первую очередь относится к вибрации, влажностным характеристикам и т.п.

На действия человека при эксплуатации технологического оборудования отрицательно влияет нерациональная организация безопасного выполнения работ. Это относится к контролю за состоянием оборудования, определяемого в процессе диагностики.

В общем случае диагностика проводится с разным успехом по разным параметрам. Пусть эффективность действия V_i при диагнозе по параметру j будет a_{ij} . Оптимальная стратегия человека может быть найдена методом Неймана исследования нулевой игры двух лиц, эквивалентной задаче оптимального назначения [14].

Простейшей тактикой человека является перебор всех вариантов, который может быть выражен $n \times n$ – матрицей. Эффективность отдельного выбора человека (перестановки p) равна:

$\sum_i a_{iip}$, где ip – образ i при перестановке p . Цель человека состоит в максимизации значения $\sum_i a_{iip}$. Перебор $n!$ перестановок явно нерационален.

Решение инвариантного относительно матричного преобразования

$$a_{ij} \rightarrow a_{ij} + u_i + v_j,$$

где u_i и v_j – произвольные наборы констант.

Соответственно

$$\sum_i a_{iip} \rightarrow \sum_i a_{iip} + \sum_i u_i + \sum_j v_j,$$

Последнее преобразование имеет существенное значение, так как позволяет при любых (в том числе отрицательных) a_{ii} решать эквивалентную задачу со строго положительными a_{ii} .

Для нахождения оптимальной стратегии человека, необходимо найти оптимальную перестановочную матрицу. Ее размеры $2n \times n^2$. Число последовательных шагов для получения достаточно хорошего приближения равно n^m , где m – небольшое положительное число, так что $n^m \ll n!$

Процедура технической диагностики сводится к одномерному варианту игры и состоит в следующем:

- человек пытается определить какой из n параметров определяет наличие неисправности;
- параметр скрыт в одном из n сигнальных элементов устройства отображения выходной информации.

Игра продолжается до нахождения параметра обозначаемого как «выигрыш» человека. Эту процедуру можно представить как поиск набора положительных чисел d_i , причем, чем длиннее перебор параметров, тем меньше выигрыш человека; если же человек не успевает предотвратить аварию, и она происходит, то это рассматривается как его проигрыш.

Если параметр скрыт в i -м сигнальном элементе с вероятностью x_i то человек стремится

выбрать такое i , при котором $\alpha_i x_i = \max_i(\alpha_i x_i)$.

Если для некоторого j справедливо $\alpha_j x_j < \max(\alpha_i x_i)$, то существует такое $\varepsilon > 0$, при котором $\alpha_j (x_j + \varepsilon) = \max_i(\alpha_i x_i)$.

Пусть

$$x_i' = \begin{cases} x_j + \varepsilon & \text{для } i = j \\ x_i & \text{для } i \neq j \end{cases}$$

тогда

$$\max_i(\alpha_i x_i') = \max_i(\alpha_i x_i)$$

и

$$\sum_i x_i' = \sum_i x_i + \varepsilon = 1 + \varepsilon.$$

Очевидно, величины x_i могут быть интерпретированы как вероятности, причем

$$\max_i(\alpha_i x_i^n) = \frac{\max_i(\alpha_i x_i)}{1 + \varepsilon} < \max_i(\alpha_i x_i).$$

Отсюда видно, что найденный параметр $x = x_i'$ не является оптимальным. Наиболее трудным для человека будет случай

$$\alpha_1 x_1 = \alpha_2 x_2 = \dots = \alpha_j x_j = \max(\alpha_i x_i) = A.$$

Из вероятностей интерпретации x_i следует, что

$$\sum_i x_i = 1$$

и

$$A = 1 / \sum_i \frac{1}{\alpha_i}.$$

Если в результате изменения режима работы или технического отказа возникает ситуация S , то человеку необходимо определенным образом воздействовать на исполнительные механизмы, что бы достичь результата O_j . Работа персонала по устранению нештатной ситуации будет определяться вероятностью достижения за отведенное время T результата O_j в конкретной ситуации S . Обозначим через $P(O_j)$ функция как параметров P_i, E_{ij}, V_i поддающихся изменению K_j в процессе обучения и других действий, так и факторов C_i, O_j и S , которые зависят от возникшей ситуации, состояния технологической системы, характеристик оборудования и ряды других факторов.

Вероятность достижения персоналом заданного результата - действий по устранению нештатной ситуации определяется по формуле:

$$P(O_j) = \sum_i P_i E_{ij}$$

В этом случае будет обеспечена техносферная безопасность путем предупреждения ава-

рийности при эксплуатации технологического оборудования предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добротворская С.Г., Зефиоров Т.Л. Техносферная безопасность человека в современных условиях / Монография. – Казань: КФУ, 2016. - 99 с.
2. Прогнозирование состояния техносферной безопасности [Текст] : монография / М. Д. Молев, С. А. Масленников, И. А. Занина, Н. И. Стуженко. М-во образования и науки Российской Федерации, Ин-т сферы обслуживания и предпринимательства (фил.) Федерального гос. бюджетного образовательного учреждения высш. проф. образования « Донской гос. технический ун-т » в г. Шахты Ростовской обл. (ИСОиП (фил.) ДГТУ в г. Шахты). - Шахты :ИСОиП (фил.) ДГТУ, 2015. - 111, [1] с.
3. 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.
4. Управление техносферной безопасностью. Управление безопасностью производственных процессов: учебное пособие [под ред. Г.Н. Яговкина]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т Самарский государственный технический университет.
5. Чавчанидзе В.В., Гельман О.Я. Моделирование в науке и технике. М., 1966; Система «человек и автомат». М., 2005.
6. Управление безопасностью производства. Монография / М.А. Кривова, Д.А. Мельникова, Г.Н. Яговкин, Н.Г. Яговкин. - Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 103 с.
7. 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.
8. Квалиметрия групповой деятельности операторов сложных систем управления / С. А. Багрецов, А. В. Бондаренко, Б. В. Обносов ; под ред. Б. С. Алёшина. - Москва : Физматлит, 2006 (М. : Московская типография » 6). - 384 с.
9. Бабаков Н. А. Теория автоматического управления : учеб. в 2 ч. Ч. 1. Теория линейных систем автоматического управления / Н. А. Бабаков [и др.] ; под ред. А. А. Воронова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1986. – 367 с.
10. Душков Б.А. Основы инженерной психологии : учебник для вузов / Б. А. Душков, А. В. Королев, Б. А. Смирнов. – М.: Академический проект; Екатеринбург : Деловая книга, 2010.
11. Алекина Е.В. Теоретические основы формирования интегративной системы управления безопасностью производства: Монография / Е.В. Алекина, Д.А. Мельникова, Г.Н. Яговкин [под общ. ред. Г.Н. Яговкина]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2018. – 281 с.
12. Надежность технологического оборудования [Текст] : учебник для студентов высших учебных

- заведений, обучающихся по направлению 150400 - Металлургия / В. Б. Шишко, Н. А. Чиченев; М-во образования и науки РФ, Федеральное гос. авт. образовательное учреждение высш. проф. образования «Нац. исслед. технологический ун-т «МИСиС», Каф.инжиниринга технологического оборудования. - Москва : Изд. дом МИСИС, 2012. - 189 с.
13. Попенченко И.В., Рачко А.А., Филлин Ю.Г. Метод прогнозирования действий оператора эргатической системы при наличии отказа // В кн.: Авиационная эргономика. Вып. 1. Киев: КИИГА, 1974, 25-26 с.
14. Венда В. Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1982. - 344 с.
15. 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.

ACTIVITIES OF THE PERSONNEL OF THE ENTERPRISE TO ENSURE ENVIRONMENTAL SAFETY IN TECHNOLOGICAL SYSTEMS

© 2021 M.A. Krivova, E.V. Romantcova

Samara State Technical University, Samara, Russia

A model of the formation of personnel actions during the operation of equipment in production has been built. As a result, a dependence was obtained that characterizes the probability of a person committing error-free actions when operating the equipment of technological systems.

Key words: personnel of the enterprise, environmental safety, technological systems

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-5-64-68