

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЛАТЕНТНОГО ВРЕМЕНИ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТОРА ПРИ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

И. А. Авцинов¹, А.С. Суровцев¹, Я. А. Туровский²

*Кафедра информационных и управляющих систем,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий» (1); igor.awtzinov@yandex.ru;
кафедра цифровых технологий, ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный университет» (2), г. Воронеж, Россия*

Ключевые слова: контроль деятельности человека-оператора; модель латентного времени действий человека.

Аннотация: Рассмотрена проблема повышения аварийной безопасности от влияния человеческого фактора в работе технологических процессов. Предложена модель оценки величины латентного времени действий оператора-технолога на основе величины интенсивности сигнала тревоги. Показано, что обучение предложенной модели требует решения задач идентификации и оптимизации. Составлено необходимое условие успешной стабилизации технологического процесса. Приведен пример использования предложенной модели для расчета величины условной интенсивности сигнала тревоги на предложенных данных. Составлен критерий, который в связке с разработанной моделью может быть использован для ранжирования людей на должность оператора.

Введение

В настоящее время множество технологических процессов выполняются с помощью автоматизированных систем управления (АСУ). Одной из задач АСУ является поддержка технологического процесса в состоянии нормального функционирования. Можно выделить следующие состояния технологического процесса с точки зрения безопасности его функционирования – предаварийное, аварийное и состояние аварии. Предаварийное состояние – такое, при котором не начались необратимые изменения. Под необратимыми изменениями в данном случае понимаются события, подразумевающие превышение предельного, недопустимого в состоянии нормального функционирования числа некоторых объектов. Приведение технологического процесса в состояние нормального функционирования при наличии необратимых изменений невозможно или трудновыполнимо управляющими воздействиями систем ручного и автоматического управления. Аварийное состояние рассматривается как состояние системы, при котором предполагается, что необратимые изменения имеют место.

Приведение технологического процесса из предаварийного состояния в нормальное функционирование может выполняться по двум сценариям. Первый заключается в запуске механизмов системы безопасности, что в некоторых случаях может принести экономические потери. Второй – в стабилизации технологического процесса управленческими действиями человека-оператора и АСУ. Время

нахождения технологического процесса в предаварийном состоянии до момента наступления аварийной ситуации определяется условиями технологического процесса. Поэтому задача оценки латентного времени действий оператора является актуальной при планировании способов стабилизации технологического процесса. Информированием оператора о возникновении предаварийной ситуации является сигнал тревоги, который подается АСУ. Громкость звуковой или цвет световой аварийной сигнализации в том числе могут нести информацию оператору о времени, доступном на стабилизацию технологического процесса. Зависимость латентного времени действий человека от величины раздражителя (сигнала тревоги) определяется индивидуальными особенностями человека. Вследствие чего, при планировании стабилизации технологического процесса, требуется учитывать индивидуальные особенности оператора-технолога.

Цель данной работы – разработка математической модели оценки латентного времени действий оператора по величине сигнала тревоги.

Модель зависимости латентного времени действий оператора от величины стимула

На рисунке 1 показан один из вариантов диаграммы потоков данных технологического процесса. Помимо системы, выполняющей технологический процесс, диаграмма включает человека-оператора, АСУ, а также системы: автоматического и ручного управления; сбора информации; контроля деятельности оператора; определения времени отклика.

Рассмотрим случай, когда система находится в предаварийном состоянии, то есть необратимые изменения еще не наступили. Наличие необратимых изменений предполагает необходимость проведения как минимум профилактических работ. Поэтому приведение технологического процесса из предаварийного состояния в состояние нормального функционирования предполагается не только управленческими действиями АСУ, но и человека-оператора.

Согласно диаграмме потока данных, показанной на рис. 1, время, с того момента, когда технологический процесс перешел в предаварийное состояние, до момента, когда технологический процесс приведен в состояние нормального функционирования, может быть рассчитано по следующему алгоритму. Система сбора информации предоставляет информацию о значении параметров технологического процесса с некоторой задержкой $T_{\text{датчика}}$, характеризующейся временем отклика измерительных приборов. Если АСУ определяет состояние системы как предаварийное (на основе данных системы сбора информации), она подает сигнал тревоги оператору. Оператору до выполнения управленческого действия требуется некоторое время $T_{\text{чел}}$, которое расходуется на интерпретацию сигналов с органов чувств и на затраты по выработке решения. Управленческие действия оператора выражаются в командах системе ручного управления (человеко-машинному интерфейсу (ЧМИ)). На исполнение команды оператора, система ручного управления затрачивает некоторое время, которое также необходимо учитывать при оценке времени $T_{\text{чМИ}}$, требующегося для стабилизации (приведения в состояние нормального функционирования) технологического процесса. По динамике параметров технологического процесса можно произвести оценку времени $T_{\text{доступ}}$, по истечении которого система переходит в аварийное состояние.

Иными словами, $T_{\text{доступ}}$ – время нахождения системы в предаварийном состоянии. Формула (1) задает соотношение между описанными временными периодами

$$T_{\text{доступ}} \geq T_{\text{датчика}} + T_{\text{чел}} + T_{\text{чМИ}}, \quad (1)$$

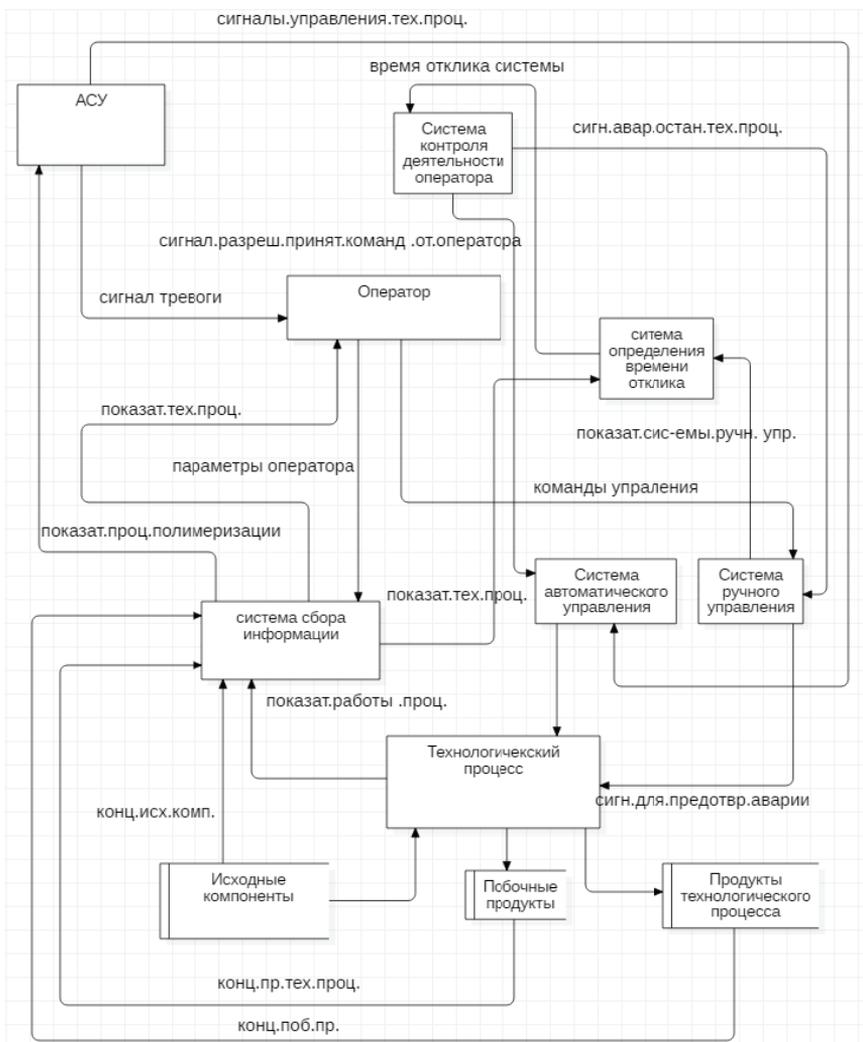


Рис. 1. Диаграмма потока данных технологического процесса, при наличии человека-оператора и систем отслеживания, автоматического и ручного управления технологическим процессом

где $T_{\text{доступ}}$ – время, доступное для стабилизации системы, с. В общем случае можно рассматривать ситуацию, когда в каждый момент времени с допустимым уровнем точности этот процесс может быть описан монотонно-убывающей или монотонно-возрастающей функцией; $T_{\text{датчика}}$ – значение латентного времени измерительного (измерительный прибор позволяет оценку величины F наблюдаемого параметра) прибора (время которое пройдет с момента начала измерения до того момента как прибор составит оценку значения измеряемой характеристики), с; $T_{\text{чел}}$ – латентное время человека-оператора, с. Показывает минимальное время, которое требуется человеку на интерпретацию данных и принятие решения, полученных с органов чувств; $T_{\text{чМИ}}$ – время выполнения команд пользователя исполнительной системой, с. Определяется интервалом времени от поступления команды оператора, до момента завершения выполнения данной команды.

Из формулы (1) можно вывести значение максимального времени, которое может быть предоставлено оператору на то, чтобы он интерпретировал сигналы органов чувств и выработал управленческое решение

$$T_{\max \text{ доп}} = T_{\text{доступ}} - (T_{\text{датчика}} + T_{\text{чми}}), \quad (2)$$

где $T_{\max \text{ доп}}$ – максимальное допустимое значение латентного времени оператора.

Значение $T_{\text{чел}}$ представляет собой сумму времени интерпретации сигналов с органов чувств и затрат на выработку решения. Время, затрачиваемое человеческим мозгом на интерпретацию сигналов, полученных с органов чувств, может быть оценено путем анализа латентного времени вызванных потенциалов, связанных с событиями (ССВП) на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Следовательно, минимальное значение латентного времени для конкретного функционального состояния рассматриваемого оператора может быть оценено на основе данных, полученных в результате анализа ССВП. Минимальное значение латентного времени может быть использовано для составления условия, чтобы вынести решение о том, что оператор не успеет вовремя выработать решение для стабилизации технологического процесса

$$L_{\min} > T_{\max \text{ чел}} \quad (3)$$

Закон «сила – длительность» показывает то, что возрастание величины стимула (или раздражителя) влечет уменьшение временем отклика биологических тканей на этот стимул (раздражитель). Примеры вида кривых «сила – длительность» и значения диапазонов области их определения показаны на рис. 2. Каждая из этих кривых определяется индивидуальными особенностями конкретного человека в определенном функциональном состоянии. Кривая 2 на данном рисунке начинается раньше двух остальных. Это говорит о том, что в данном функциональном состоянии человек реагирует на более слабый раздражитель, нежели, чем некоторые другие пользователи в некоторых других функциональных состояниях, для которых кривая «сила – длительность» показана линиями 1 и 3. При стремлении значения раздражителя к $+\infty$, латентное время должно асимптотически стремиться к своему минимальному значению. Поэтому правая граница области определения кривой «сила – длительность» определяется условиями технологического процесса и оператора. Согласно этому закону, можно составить модель зависимости латентного времени действий оператора от величины стимула.

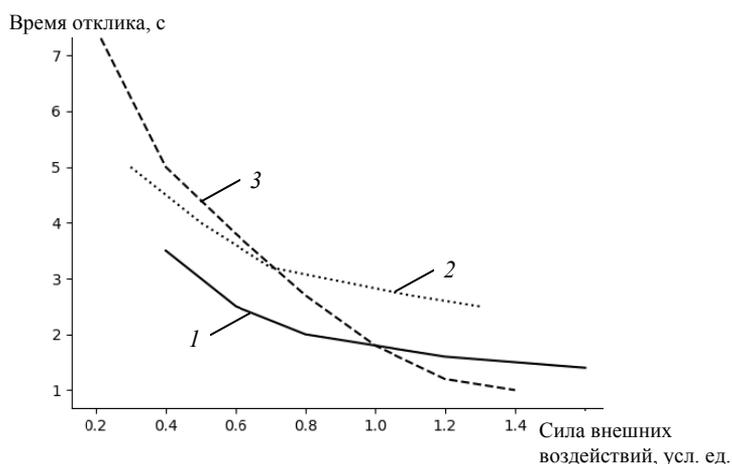


Рис. 2. Пример кривых «сила – длительность» и область их определения, усл. ед.:

1 – [0,4; 1,6]; 2 – [0,3; 1,3]; 3 – [0,2; 1,4]

На рисунке 1 АСУ подает оператору сигнал тревоги (звуковой, визуальный и т.д.), который может быть рассмотрен как стимул для выполнения управленческих действий, направленных на стабилизацию (приведение в состояние нормального функционирования) технологического процесса.

Для определения необходимой величины стимула из формулы (2) можно использовать максимальное допустимое латентное время оператора $T_{\text{чел max}}$. Далее из формулы (3) найти минимальное значение величины стимула $F_{\text{текущ}}$, при котором величина латентного времени действий оператора $T_{\text{чел}}$ не будет превосходить максимально допустимое значение $T_{\text{чел max}}$

$$T_{\text{чел}} \leq T_{\text{чел max}}. \quad (4)$$

Пусть область определения и область значения модели оценки латентного времени действий оператора ограничены следующими соотношениями:

$$OO = [F_{\text{min}}; F_{\text{max}}]; \quad (5)$$

$$OZ = [L_{\text{min}}; L_{\text{max}}], \quad (6)$$

где F_{min} , F_{max} – минимальное и максимальное значения величины стимула, при котором время отклика человека принимает минимальное и максимальное значения соответственно, усл. ед.; L_{min} , L_{max} – параметры, задающие минимальное и максимальное время, которое требуется человеку на интерпретацию данных, полученных с органов чувств, с. Это время определяется индивидуальными особенностями конкретного человека-оператора и его функциональным состоянием.

Определим функцию, которая будет масштабировать диапазон области определения в единичный отрезок $[0; 1]$ следующим равенством

$$S(F) = \frac{F - F_{\text{min}}}{F_{\text{max}} - F_{\text{min}}}, \quad (7)$$

где F – текущее значение величины стимула, усл. ед.

Рассмотрим степенной ряд

$$M(X) = \sum_{i=1}^N x^i a_i, \quad (8)$$

где a_i – коэффициенты степенного ряда.

Зададим функцию масштабирования до области значения (6)

$$R(x, y) = \max(L_{\text{min}}; L_{\text{min}} + (L_{\text{max}} - L_{\text{min}}) \min(1 - x; y)). \quad (9)$$

На рисунке 3 данная функция масштабирования (7) ограничивает значения снизу ординатой $y = L_{\text{min}}$, а сверху прямой $y = L_{\text{min}} + (L_{\text{max}} - L_{\text{min}})(1 - x)$, выделенная область показывает область возможных точек функции.

Латентное время может быть представлено следующей композицией

$$T_{\text{чел}}(F) = R(S(F), M(1 - S(F))). \quad (10)$$

Выражение $M(1 - S(F))$ означает, что рассматривается сумма убывающих степенных функций, так как область определения функции $S(F)$ – отрезок $[0; 1]$.

В итоге получается то, что модель латентного времени действий человека $T_{\text{чел}}(F)$ определяется степенным рядом, который является рядом Маклорена, поэтому любую зависимость можно выразить через такой степенной ряд со сколь

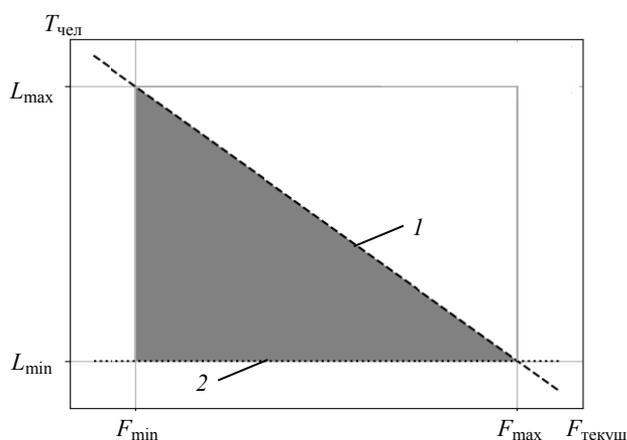


Рис. 3. Множество точек функции $R(x, y)$:
 1, 2 – верхняя и нижняя границы соответственно

удовно высокой точностью. Предлагаемая модель оценки латентного времени действий человека-оператора определяется тремя функциями: $S(F)$, $M(x)$ и $R(x, y)$. Причем $S(F)$ и $R(x, y)$ – функции, предназначенные для масштабирования, $M(x)$ – функция, позволяющая хранить информацию о зависимости латентного времени действий человека-оператора от величины раздражителя. Процесс обучения предполагает сохранение промежуточных значений и конечного результата значений параметров функции $M(x)$. Точность обученной модели определяется параметрами $M(x)$, так как две другие функции определяются условиями технологического процесса и предельными значениями латентного времени действий человека-оператора.

На рисунке 4 показан пример графиков зависимости латентного времени действий оператора $T_{\text{чел}}$ от величины стимула $F_{\text{текущ}}$ для трех случаев (8).

Согласно формулам (7) – (10) модель зависимость времени действий оператора $T_{\text{чел}}$ от величины стимула $F_{\text{текущ}}$ определяется двумя наборами параметров:

$$\{L_{\min}; L_{\max}; F_{\min}; F_{\max}\}; \quad (11)$$

$$\{a_i\}. \quad (12)$$

Отметим, что набор параметров (11) и (12) определяется функциональным состоянием конкретного оператора и параметрами технологического процесса. То есть значение этого набора параметров не обязательно одинаково как для разных людей, находящихся в одном и том же функциональном состоянии, так и для одного и того же человека при разных функциональных состояниях. Оценка параметров L_{\min} и L_{\max} должна соответствовать параметрам технологического процесса; F_{\min} и F_{\max} отражают индивидуальные особенности оператора.

Для получения значения параметров (12) необходимо решить две задачи (рис. 5). Первая – задача идентификации, которая заключается в том, чтобы определить набор рассматриваемых параметров. Вторая – оптимизация параметров в соответствии с некоторой функцией ошибки. Первая задача решается методом кросс-валидации; вторая – любым из существующих методов обучения с учителем, так как обучающая выборка состоит как из набора входных, так и соответствующих ожидаемых значений. Таким образом, согласно блок-схеме, приведенной на рис. 5, процесс обучения модели может заключаться в циклическом повторении

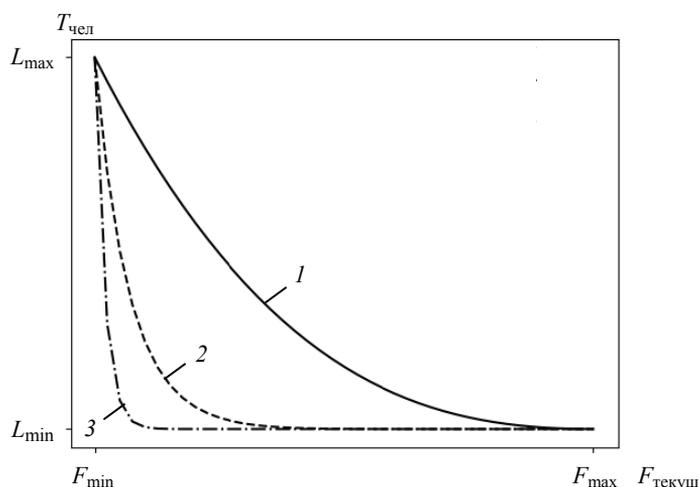


Рис. 4. Вид зависимости латентного времени действий оператора $T_{\text{чел}}$ от величины стимула $F_{\text{текущ}}$ для функций $M(x)$:

$$1 - x^2/3 + (x^3) \cdot 2/3; 2 - x^{20}/2 + x^{10}/2; 3 - x^{50}$$



Рис. 5. Блок-схема одного из вариантов процесса обучения модели

этапов выбора структуры и определения значения параметров на основе обучающей выборки. Завершением циклического выполнения является получения допустимого уровня точности модели при кросс-валидации.

Результаты и обсуждение

В качестве примера рассмотрим ситуацию, когда система находится в предаварийном состоянии. Заданы следующие условия эксперимента (значения параметров, которые используются в модели зависимости латентного времени действий оператора от величины стимула): $T_{\text{доступ}} = 7$ с; $T_{\text{датчика}} = 3$ с; $T_{\text{чми}} = 2,5$ с; $L_{\text{min}} = 0,3$ с; $L_{\text{max}} = 3$ с; $F_{\text{min}} = 0$ усл. ед.; $F_{\text{max}} = 100$ усл. ед.; $M(x) = x^2$ с.

Использование модели оценки латентного времени действий оператора позволит получить ответ на вопрос успеет ли оператор вовремя сформировать управленческое решение и какой величины сигнал тревоги нужно для этого подать оператору.

В соответствии с формулой (2) рассчитаем значение максимально допустимого латентного времени действий оператора

$$T_{\text{чел max}} = 7 - (3 + 2,5) = 1,5. \quad (13)$$

Условие, заданное формулой (3), выполняется, следовательно, в конкретной ситуации в рассматриваемый момент времени нет необходимости запускать механизмы автоматической аварийной системы безопасности. Подставим формулы (7) и (8) в (10), а также заменим все переменные, для которых имеются значения,

$$T_{\text{чел}}(F) = \max \left(0,3; 0,3 + (3 - 0,3) \min \left(1 - \left(\frac{F-0}{100-0} \right), \left(1 - \frac{F-0}{100-0} \right)^2 \right) \right) \quad (14)$$

или

$$T_{\text{чел}}(F) = \max \left(0,3; 0,3 + (2,7) \min \left(1 - \left(\frac{F}{100} \right), \left(1 - \frac{F}{100} \right)^2 \right) \right). \quad (15)$$

Так как $F \in [0; 100]$

$$1 - \left(\frac{F}{100} \right) \geq \left(1 - \frac{F}{100} \right)^2 \quad (16)$$

следовательно,

$$T_{\text{чел}}(F) = \max \left(0,3; 0,3 + 2,7 \left(1 - \frac{F}{100} \right)^2 \right). \quad (17)$$

Согласно тому, что

$$\left(1 - \frac{F}{100} \right)^2 \geq 0, \quad (18)$$

$$T_{\text{чел}}(F) = 0,3 + 2,7 \left(1 - \frac{F}{100} \right)^2. \quad (19)$$

Подставим предыдущее равенство в неравенство (4)

$$1,5 \geq 0,3 + 2,7 \left(1 - \frac{F}{100} \right)^2. \quad (20)$$

Результат

$$F \geq 100/3 \text{ усл. ед.} \quad (21)$$

Таким образом, для того, чтобы оператор успел вовремя интерпретировать сигналы с органов чувств и выработать управленческое решение в соответствии с заданными условиями эксперимента, необходимо подать сигнал тревоги, условие для величины которого показано в формуле (21).

Уравнение (1) задает условие успешного приведения технологического процесса в состояние нормального функционирования. Диапазон значений для $T_{\text{доступ}}$ определяется условиями технологического процесса. Значения параметров $T_{\text{датчика}}$ и $T_{\text{чел}}$ также определяются условиями технологического процесса и без потери общности можно считать, что эти параметры являются константами. Диапазон значений $T_{\text{чел}}$, который показан в формуле (6), определяется не только условиями технологического процесса, но и индивидуальными особенностями рассматриваемого человека и его функциональным состоянием. Таким образом, для

разных людей и разных функциональных состояний одного человека диапазоны значений параметра $T_{\text{чел}}$ различные. Следовательно, вероятность стабилизации технологического процесса (приведения в состояние нормального функционирования) зависит как от человека, так и его функционального состояния.

Успешность выбора человека на должность оператора, если следовать критерию, учитывающему вероятности стабилизации технологического процесса, определяется индивидуальными особенностями человека, которые выражаются в оперативности действий, направленных на стабилизацию технологического процесса, при различных функциональных нагрузках. Поэтому задача подбора персонала на должность оператора-технолога может решаться и с использованием данного критерия (учитывающего вероятности стабилизации технологического процесса) и предложенной модели (зависимости латентного времени действий человека-оператора от величины стимула или раздражения).

Согласно вышесказанному, сформулируем два утверждения. Первое – нет гарантии того, что при других значениях параметров модели оценки латентного времени действий оператора будет выполняться условие, заданное формулой (4). Второе – область значений кривых «сила – длительность» является отрезком в рамках рассматриваемой модели, так как эти кривые непрерывные и дифференцируемые на всей области определения, согласно формулам (7) – (10), и область определения является отрезком. Эти два утверждения полностью согласуются с формулой (3) (здесь стоит отметить то, что формулы (3) и (4) ранее не были выведены одна из другой и только в этом абзаце они получили логическую связь).

Минимальным значением силы раздражителя является F_{\min} , при котором конкретный человек, находящийся в рассматриваемом функциональном состоянии, реагирует на раздражитель; F_{\max} – максимальное значение силы раздражителя, при котором на всех точках интервала $[F_{\min}; F_{\max}]$ не возникает изменения функционального состояния. Иными словами, для нахождения области определения (5) кривой «сила – длительность» требуется найти порог чувствительности и минимальное значение силы, при котором возникает изменение функционального состояния для человека, находящегося в конкретном функциональном состоянии.

Рассмотрим рисунок 2. Значения для кривой «сила – длительность» не определены, если значения силы меньше, чем 0,4, 0,3 и 0,2, для кривых 1, 2 и 3 соответственно. Значения силы кривых «сила – длительность», которые больше, чем 1,6, 1,3 и 1,4 для кривых 1, 2 и 3 также не определены. Левая граница области определения говорит о том, что для конкретного человека величина раздражителя лежит ниже порога чувствительности, когда рассматриваемый человек находится в таком функциональном состоянии. Правая граница области определения показывает величину силы условного раздражителя, при которой возникает высокая вероятность изменения функционального состояния человека, вследствие увеличения эмоционального напряжения (по причине большой величины раздражителя). Причем текущее функциональное состояние не обязательно изменится на некоторое определенное функциональное состояние, а может измениться также и на одно значение из набора функциональных состояний, что потребует вывода правил переходов функциональных состояний при превышении правой границы области определения величины условной силы раздражителя. Изменение функционального состояния по причине увеличения эмоционального напряжения может привести к тому, что возникнет необходимость рассматривать другие значения параметров модели оценки латентного времени человека, показанной в формуле (10).

Области определения трех кривых, показанных на рис. 2, отличаются. Допустим, что эти кривые относятся к трем разным людям, находящимся в одинаковых функциональных состояниях. В случае, изображенном кривой 1, человек

может реагировать на более сильные сигналы, чем люди, для которых латентные времена действий описываются кривыми 2 и 3. На интервале $[0,2; 0,4]$ кривая определена только для человека-оператора 3 (*далее человек 3*), а это значит, что это человек реагирует на более слабый раздражитель, чем могут реагировать двое других. Так на приведенном примере, человек 3 реагирует на более слабую (меньшую 0,4 усл. ед.) величину раздражителя и для этого человека раньше наступает изменение функционального состояния (при величине раздражителя, большей, чем 1,4 усл. ед.) вследствие эмоционального напряжения. Наименьшим минимальным латентным временем действий обладает человек 3, а наибольшим среди трех людей минимальным латентным временем – человек 2. Наряду с этим человек-оператор 3 обладает и наибольшим максимальным временем отклика, а человек 1 – наименьшим максимальным значением времени отклика. В данном случае по этой метрике трудно сказать работа какого человека будет наиболее эффективна с точки зрения величины вероятности успешного приведения системы в состояние нормального функционирования при возникновении предаварийной ситуации. Одним из вариантов оценки величины вероятности положительных исходов (успешности приведения процесса в состояние нормального функционирования) может являться сравнение результатов многократного выполнения численных экспериментов методом Монте-Карло. Кроме того, для получения одного и того же латентного времени действий человеку 2 необходимо подавать раздражитель с большей силой, нежели человеку 3, что также необходимо согласовывать с условиями технологического процесса.

Неравенство (1) показывает необходимое условие для успешного выполнения стабилизации технологического процесса. Рассмотрим случай, когда $T_{\text{датчика}}$ и $T_{\text{чми}}$ постоянны и возьмем для них значения 3 и 2,5 соответственно. Рассчитаем диапазон минимальных значений параметра $T_{\text{доступ}}$ по диапазону значений $T_{\text{чел}}$ для каждого рассматриваемого человека-оператора (см. рис. 2): 1 – $[6,9; 9]$; 2 – $[8; 10,5]$; 3 – $[5,5; 13]$.

Для человека 3 диапазон значений $T_{\text{доступ}}$ перекрывает диапазоны значений данного параметра для двух других рассматриваемых людей. Это говорит о том, что данный человек-оператор может быстрее всех выполнить интерпретацию сложившейся ситуации и выработать управленческое решение, и для него возможно самое длительное время, относительно двух других людей, на интерпретацию и принятие решения при определенных значениях величины ее раздражителя.

Заключение

Разработана математическая модель оценки латентного времени действий оператора по величине раздражителя (сигнала тревоги). Приведено необходимое условие стабилизации технологического процесса (приведение в состояние нормального функционирования). Это условие представляет собой неравенство между доступным и необходимым для стабилизации временем. Доступное время определяется условиями технологического процесса. Необходимое время складывается из времени отклика измерительного прибора, латентного времени действий человека и времени отклика исполнительного механизма. Время отклика измерительного прибора и исполнительного механизма определяются условиями технологического процесса. Латентное время действий оператора определяется, как и условиями технологического процесса, так и индивидуальными особенностями оператора-технолога. Для оценки латентного времени действий оператора предложена модель. Модель отражает зависимость латентного времени действий оператора от величины раздражителя или стимула. В качестве стимула рассматривается сигнал тревоги, посылаемый АСУ. Показано, что обучение данной модели требует

решения двух задач – идентификации и оптимизации. Приведен пример ситуации использования модели для проверки возможности стабилизации состояния технологического процесса путем управляющих действий оператора и вычислена величина сигнала тревоги, в ответ на которую величина латентного времени действий оператора будет максимально допустимой в рассматриваемом случае.

Кроме этого, рассмотрена возможность использования данного подхода (составления и применение модели латентного времени человека-оператора) для выбора множества людей среди кандидатов. Реализация этой возможности достигается при классификации с использованием критерия оценки вероятности успешного приведения технологического процесса в состояние нормального функционирования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, №16-29-08342-офи_м.

Список литературы

1. Закирова, З. А. Повышение уровня безопасности на опасных производственных объектах, эксплуатирующих оборудование, работающее под избыточным давлением / З. А. Закирова, А. И. Шаяхметова // Электрон. науч. журн. «Нефтегазовое дело». – 2016. – № 2. – С. 240 – 253.

2. Методика автоматизированной оценки качества управления технологическим процессом операторами котлов утилизаторов / М. В. Кривов [и др.] // Вестн. Ангарского гос. техн. ун-та. – 2015. – № 9. – С. 122 – 126.

3. Вишневская, Н. Л. Способы оценки напряженности труда операторов высокотехнологичных опасных производств и проблемы профессиографирования / Н. Л. Вишневская, Л. В. Плахова // Успехи соврем. науки и образования. – 2016. – Т. 5, № 12. – С. 6 – 10.

4. Касаткин, А. С. Система контроля бдительности оператора охранной системы / А. С. Касаткин, С. Е. Юленков, Ю. Н. Серегин // Аллея науки. – 2018. – Т. 3, № 1 (17). – С. 914 – 917.

5. Пилькин, Н. Б. Алгоритм управления качеством в системах «человек – машина» на основании оценки функционального состояния операторов / Н. Б. Пилькин, О. М. Куликова // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 6-2. – С. 444 – 448.

6. Акинин, Н. И. Статистический анализ причин аварий и травматизма на опасных производственных объектах / Н. И. Акинин, Н. Н. Булхов, В. А. Гериш // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19, № 10. – С. 53 – 55.

7. Хафизов, А. М. Разработка имитатора работы трубчатой печи для повышения безопасности технологического процесса и экономии энергоресурсов / А. М. Хафизов, Е. Г. Юхин, Р. Р. Аслаев // Сб. тр. IV Всероссийской науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов «Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов», Тольятти, 12 – 14 апреля, 2016 г. – Тольятти, 2016. – С. 343 – 346.

8. Основы обеспечения безопасности в системе «человек – машина – среда» / Ю. Н. Баранов [и др.] // Вестник НЦБЖН. – 2014. – № 1 (19). – С. 73 – 76.

9. Овсянников, В. Е. Разработка средств для исследования деятельности операторов технологического оборудования [Электронный ресурс] / В. Е. Овсянников, В. И. Васильев // Электрон. науч. журн. «Инженерный вестник Дона». – 2015. – № 1. – Режим доступа : http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_22_Ovsyannikov.pdf (дата обращения: 12.09.2018).

The Model for Estimating the Latent Time of Operator Actions for the Process Stabilization

I. A. Avtsinov¹, A. S. Surovtsev¹, Ya. A. Turovsky²

Department of Information and Control Systems (1), Voronezh State University of Engineering Technologies; igor.awtzinov@yandex.ru;
Department of Digital Technologies (2), Voronezh State University, Voronezh, Russia

Keywords: human operator control; model of latent time of human actions.

Abstract: The problem of increasing emergency safety caused by the impact of the human factor in the work of technological processes is considered. A model for estimating the scope of the latent time of the technical operator's actions based on the alarm intensity is proposed. It is shown that the training of the proposed model requires solving the problems of identification and optimization. A necessary condition for successful stabilization of the process is specified. An example of using the proposed model to calculate the scope of the conditional alarm intensity on the proposed data is given. A criterion that can be integrated with the developed model is proposed to rank people for the operator's job.

References

1. Zakirova Z.A., Shayakhmetova A.I. [Increasing the Level of Safety at Hazardous Production Facilities Operating Equipment Operating Under Excessive Pressure], *Elektronnyy nauchnyy zhurnal "Neftegazovoye delo"* [Electronic Scientific Journal "Oil and Gas Business"], 2016, no. 2, pp. 240-253. (In Russ., abstract in Eng.)
2. Krivov M.V., Blagodarnyy N.S., Badenikov V.Ya., Kolmogorov A.G., Kobozev V.Yu. [Methods of Automated Assessment of the Quality of Control of a Technological Process by Utilization Boiler Operators], *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Angara State Technical University], 2015, no. 9, pp. 122-126. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Vishnevskaya N.L., Plakhova L.V. [Methods for Assessing the Labor Intensity of Operators of High-Tech Hazardous Industries and the Problems of Professiography], *Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya* [Advances in Modern Science and Education], 2016, vol. 5, no. 12, pp. 6-10. (In Russ.)
4. Kasatkin A.S., Yulenkov S.Ye., Seregin Yu.N. [A System for Monitoring the Vigilance of a Security System Operator], *Alleya nauki* [Alley of Science], 2018, vol. 3, no. 1 (17), pp. 914-917. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Pil'kin N.B., Kulikova O.M. [Algorithm of Quality Management in "Man – Machine" Systems Based on the Assessment of the Functional State of Operators], *Fundamental'nyye issledovaniya* [Basic Research], 2016, no. 6-2, pp. 444-448. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Akinin N.I., Bulkhov N.N., Gerish V.A. [Statistical Analysis of the Causes of Accidents and Injuries at Hazardous Production Facilities], *Pozharovzryvobezopasnost'* [Fire and Explosion Safety], 2010, vol. 19, no. 10, pp. 53-55. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Khafizov A.M., Yukhin Ye.G., Aslayev R.R. *Sbornik trudov IV Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov "Energoeffektivnost' i energobezopasnost' proizvodstvennykh protsessov"* [Proceedings of the IV All-Russian Scientific-Technical Conference of Students, Undergraduates, Postgraduates "Energy Efficiency and Energy Security of Production Processes"], Tol'yatti, 12 – 14 April, 2016, Tol'yatti, 2016, pp. 343-346. (In Russ.)

8. Baranov Yu.N., Katunin A.A., Shkrabak R.V., Braginets Yu.N. [Basics of Ensuring Security in the "Man – Machine – Environment" System], *Vestnik NTSBZHN* [Bulletin of the FCTU], 2014, no. 1 (19), pp. 73-76. (In Russ., abstract in Eng.)

9. http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_22_Ovsiyannikov.pdf_cc06c85268.pdf (accessed 12 September 2018).

Modell für die Einschätzung der latenten Zeit der Handlungen des Operators bei der Stabilisierung des technologischen Prozesses

Zusammenfassung: Es ist das Problem der Erhöhung der Notfallsicherheit durch den Einfluss des menschlichen Faktors auf die Arbeit der technologischen Prozesse betrachtet. Das Modell der Einschätzung der Größe der latenten Zeit der Handlungen des Operators-Technologen auf der Grundlage der Größe der Intensität des Alarmsignals ist vorgeschlagen. Es wird gezeigt, dass das Training des vorgeschlagenen Modells die Lösung der Probleme der Identifikation und Optimierung erfordert. Die notwendige Voraussetzung für eine erfolgreiche Stabilisierung des Prozesses ist erarbeitet. Das Beispiel der Verwendung des vorgeschlagenen Modells für die Berechnung der Größe der bedingten Alarmintensität auf den vorgeschlagenen Daten ist gegeben. Es wurde ein Kriterium erarbeitet, das in Verbindung mit dem entwickelten Modell verwendet werden kann, um Personen für die Bedienerposition zu ordnen.

Modèle pour l'évaluation du temps latent des actions de l'opérateur lors de la stabilisation du processus technologique

Résumé: Est examiné le problème de l'augmentation de la sécurité d'urgence de l'influence du facteur humain dans le fonctionnement des processus technologiques. Est proposé un modèle d'évaluation de la valeur du temps latent des actions de l'opérateur-technologue en fonction de l'intensité de l'alarme. Est montré que l'apprentissage du modèle proposé nécessite des tâches d'identification et d'optimisation. Est faite une condition nécessaire à la stabilisation réussie du processus technologique. Est cité l'exemple de l'utilisation du modèle proposé pour calculer la valeur de l'intensité conditionnelle d'une alarme sur les données suggérées. Est établi un critère qui, en conjonction avec le modèle développé, peut être utilisé pour classer les personnes pour le poste d'opérateur.

Авторы: *Авцинов Игорь Алексеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры информационных и управляющих систем; *Суровцев Александр Сергеевич* – аспирант кафедры информационных и управляющих систем, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»; *Туровский Ярослав Александрович* – кандидат медицинских наук, доцент кафедры цифровых технологий, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», старший научный сотрудник института проблем управления РАН, г. Воронеж, Россия.

Рецензент: *Кудряшов Владимир Сергеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры информационных и управляющих систем, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж, Россия.