

**С. Ю. БУТУЗОВ**, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: butuzov\_s\_yu@mail.ru)

**Б. М. ПРАНОВ**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры прикладных информационных технологий Института общественных наук, Российская академия народного хозяйства и государственной службы (Россия, 119571, г. Москва, просп. Вернадского, 82, стр. 1; e-mail: boris.pranov@gmail.com)

**Ю. В. ПРУС**, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой управления и экономики Государственной противопожарной службы, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: prus.yurii@gmail.ru)

**В. Л. СЕМИКОВ**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры управления и экономики Государственной противопожарной службы, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: vlsemikov@km.ru)

**О. В. ЯКОВЛЕВ**, д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" РАН (Россия, 119333, г. Москва, ул. Вавилова, 44, корп. 2; e-mail: olexvl@yandex.ru)

УДК 681.3.067;614+004

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ

Проведен анализ методов оценки надежности и устойчивости функционирования автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) пожаровзрывоопасных предприятий. Показано, что в настоящее время при проектировании данных систем на единой программно-аппаратной базе принимается условие, что физико-технические характеристики элементов систем не меняются во времени. Однако в условиях быстротекущих технологических процессов (взрывы, пожары на промышленных предприятиях) из-за временной деградации, помех, недостатков в сборке и т. д. теоретические показатели эффективности могут снижаться до 25 %. Во избежание данных неточностей в расчетах при проектировании автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) промышленных предприятий предложена математическая модель оценки устойчивости функционирования этих систем, являющихся частью АСУТП, которая основана на исследованиях в области устойчивости автоматических технических систем Э. Рауса и энтропийных методов А. Дж. Вилсона. Проведено моделирование надежности и устойчивости функционирования каналов передачи информации для различных вариантов построения АСПВБ. Показано, что для оптимизации затрат может быть использован комплексный подход, основанный на использовании единой программно-аппаратной платформы микропроцессорной платформы АСУТП.

**Ключевые слова:** автоматизированные системы управления технологическим процессом; системная магистраль передачи данных; автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности; устойчивость и надежность технических систем; энтропия технической системы; энтропийная модель оценки устойчивости.

**DOI:** 10.18322/PVB.2017.26.11.14-20

### Введение

В условиях современного экономического подъема возрастает актуальность надежного функционирования автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) промышленных предприятий, являющихся критически важными для российской экономики.

Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) в настоящее время стали играть

ключевую роль в структуре АСУТП. При этом они являются сверхбыстродействующими подсистемами, способными обеспечить детектирование избыточного давления взрывоопасных технологических установок в течение 0,1 мкс. В этом случае возможно осуществить в реальных масштабах времени сброс давления, чтобы защитить технологическое оборудование от разрушения и персонал предприятия от гибели [1].

© Бутузов С. Ю., Пранов Б. М., Прус Ю. В., Семиков В. Л., Яковлев О. В., 2017

Однако соблюдение данного требования увеличивает частоту опроса датчиков давления свыше  $10^7 \text{ с}^{-1}$ , частота системной магистрали передачи данных должна составлять более 10 МГц, а для обеспечения надежного детектирования избыточного давления — до 100 МГц. В этом случае актуальным становится вопрос устойчивой работы шины АСПВБ, а именно каналов передачи информации [2].

Целью данной работы является создание методики оценки надежности функционирования каналов передачи информации на основе моделирования величины энтропии АСПВБ. Для достижения данной цели разработана математическая энтропийная модель, основанная на научных работах А. Дж. Вилсона [3] и Э. Рауса [4].

### Теоретический анализ

Анализ научно-технической литературы показал, что в настоящее время отсутствуют системные научные исследования устойчивости функционирования АСПВБ [5–8].

Для расчетов АСУТП используются модели, представленные в [9–11]. Данные расчетные модели базируются на условии, что технические характеристики элементов автоматизированной системы не меняются во времени, вне зависимости от воздействующих факторов. Например, такой параметр, как скорость передачи данных, который является основным лимитирующим показателем системы. В этом случае расчет скорости передачи данных строится на основании произведения  $P\Omega$  (где  $P$  — разрядность системной шины;  $\Omega$  — ее тактовая частота).

В реальных же условиях на производительность системной магистрали передачи данных (шина) оказывают влияние всевозможные факторы: проводимость материалов, которая меняется во времени, помехи, недостатки конструкции и сборки, а также многие другие факторы. По данным, взятым из [12, 13], разность между теоретической скоростью передачи данных и практической может уменьшаться до 25 % от расчетной величины.

В современных АСУТП, создаваемых на единой программно-аппаратной базе, при возникновении чрезвычайной ситуации возможен конфликт между информационными потоками различных подсистем. Может возникнуть ситуация, при которой первичная информация от высокоскоростных высокопроизводительных источников может быть заблокирована менее производительной линией, что приведет к полному отказу системы [14].

Разработчики АСПВБ для недопущения подобной ситуации вынуждены предусматривать резервные каналы передачи информации, что влечет за собой увеличение первоначальной стоимости технического проекта.

Разработанная в настоящей работе модель оценки поможет проводить оптимизацию структуры системы, что, в свою очередь, повысит надежность функционирования системы в целом.

### Методика

Для создания модели оценки устойчивости функционирования информационных каналов АСПВБ, основанной на изменении величины информационной энтропии системы [1], первоначально необходимо получить характеристическое уравнение системы

$$D(S) = a_0 S^n + a_1 S^{n-1} + \dots + a_{n-1} S + a_n, \quad (1)$$

где  $a_0, a_1, \dots, a_n$  — коэффициенты характеристического уравнения системы;

$S$  — энтропия системы;

$n$  — количество подсистем АСПВБ.

Известно [4], что необходимым условием устойчивости системы любого порядка является положительность всех коэффициентов характеристического уравнения (1):  $a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0$ .

Действительно, уравнение (1) можно представить в виде произведений множителей, содержащих корни  $S_1, S_2, \dots, S_n$ :

$$a_0 (S - S_1) \cdot (S - S_2) \dots (S - S_n) = 0. \quad (2)$$

Если все корни характеристического уравнения будут отрицательными, то все множители выражения (2) будут иметь вид:

$$a_0 (S + |a_1|) \cdot (S + |a_2|) \dots (S + |a_n|) = 0, \quad (3)$$

где  $|a_i|$  — значения корней.

Произведя умножение в (3), получим (1), в котором все коэффициенты будут определяться положительными членами  $|a_i|$  выражения (3), т. е. будут положительными.

Для систем, в которых одна или две подсистемы, необходимое условие устойчивости является и достаточным условием. Для систем, в которых три и более подсистем, условие положительности коэффициентов характеристического уравнения является необходимым, но недостаточным условием.

Для того чтобы оценить устойчивость системы, необходимо использовать алгоритм, основанный на исследованиях английского математика Э. Рауса [4]. Для оценки устойчивости построим таблицу.

В первой строке таблицы записывают в порядке возрастания индексов коэффициенты характеристического уравнения (1), имеющие четный индекс:  $a_0, a_2, a_4, a_6, \dots$ , во второй строке — с нечетным индексом:  $a_1, a_3, a_5, \dots$ .

В данном случае число строк таблицы равно степени характеристического уравнения (1) плюс единица.

Матрица коэффициентов характеристического уравнения  
The coefficient matrix of the characteristic equation

Коэффициент $r_i$ Coefficient $r_i$	Строка Row	Столбец / Column			
		1	2	3	4
–	1	$a_0 = c_{11}$	$a_2 = c_{21}$	$a_4 = c_{31}$	...
–	2	$a_1 = c_{12}$	$a_3 = c_{22}$	$a_5 = c_{32}$	...
$r_3 = a_0/a_1$	3	$c_{13} = a_2 - r_3 a_3$	$c_{23} = a_4 - r_4 c_{33}$	$c_{33} = a_6 - r_3 a_7$	...
$r_4 = a_1/c_{13}$	4	$c_{14} = a_3 - r_4 c_{23}$	$c_{24} = a_5 - r_4 c_{33}$	$c_{34} = a_7 - r_4 c_{43}$	...
$r_5 = c_{13}/c_{14}$	5	$c_{15} = c_{23} - r_5 c_{23}$	$c_{25} = c_{33} - r_5 c_{33}$	$c_{35} = c_{43} - r_5 c_{43}$	...
...	...	...	...	...	...
$r_i = \frac{c_{1,i-2}}{c_{1,i-1}}$	$i$	$c_{1,i} = c_{2,i-2} - r_i c_{2,i-1}$	$c_{2,i} = c_{3,i-2} - r_i c_{3,i-1}$	$c_{3,i} = c_{4,i-2} - r_i c_{4,i-1}$	...

Тогда условие устойчивости можно сформулировать так: для того чтобы система была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы коэффициенты первого столбца таблицы имели один и тот же знак.

Данный процесс может быть легко автоматизирован в силу простоты его формализации.

Оценивать работу системы следует при моделировании информационного воздействия. Предположим, что в АСПВБ одновременно задействуются несколько информационных каналов.

В этом случае для АСПВБ, построенной по дискретному принципу, величина энтропии  $S_d$  определяется по формуле [15]:

$$S_d = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i, \tag{4}$$

где  $p_i$  — вероятность появления сигнала в  $i$ -м канале.

Известно [6], что в АСПВБ всегда задействован хотя бы один информационный канал (например, канал передачи значения давления в технологическом оборудовании). В этом случае вероятность появления сигнала в данном информационном канале равна единице. Если сигналы в других каналах отсутствуют, то, очевидно, вероятность появления сигналов в них равна нулю, т. е. для заранее известного информационного сообщения выражение (4) будет состоять из слагаемых двух видов: либо  $1 \cdot \log_2 1$ , либо  $0 \cdot \log_2 0$ . Слагаемое первого вида равно нулю, а значит,  $\lim_{x \rightarrow 0} (x \cdot \log_2 x) = 0$  и, следовательно, энтропия заранее известного сообщения равна нулю.

Следует определить, какое максимальное значение может принимать слагаемое  $-p_i \log_2 p_i$ . Для этого продифференцируем уравнение (4) и приравняем производную нулю:

$$\begin{aligned} (d/(dp_i))(-p_i \log_2 p_i) &= \\ = -p_i \log_2 p_i - p_i - p_i(1/p_i) \log_2 e &= 0, \end{aligned} \tag{5}$$

т. е.  $p_i = 1/e$ .

Так как все слагаемые выражения (4) не превышают значения  $(1/e) \log_2 e$ , то из этого следует, что энтропия АСПВБ есть величина конечная при любом количестве информационных подсистем. Очевидно, при таком распределении вероятностей  $p_i$  энтропия принимает максимальное значение, что коррелирует с результатами Э. Рауса.

Теперь воспользуемся методом неопределенных множителей Лагранжа и найдем максимум функции в виде формулы (6), составленной с учетом дополнительного условия  $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ :

$$F = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i - \lambda \sum_{i=1}^n p_i. \tag{6}$$

Дифференцируя (6) по  $p_i$  и приравнявая производную нулю, получаем уравнение (7) или (8):

$$\frac{dF}{dp_i} = -\log_2 p_i - \left(\frac{1}{p_i}\right) p_i \log_2 e - \lambda = 0; \tag{7}$$

$$-\log_2 p_i = \log_2 e + \lambda. \tag{8}$$

Анализируя выражение (6), можно сделать вывод, что вероятность  $p_i$  не зависит от переменной суммирования, что может быть только в том случае, если все вероятности равны между собой:  $p_1 = p_2 = \dots = p_n = p = 1/n$ . Следовательно,

$$S_d^{\max} = -\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \log_2 \frac{1}{n} = \log_2 n.$$

Известно [3], что энтропия стремится к своему максимальному значению. Основываясь на этом, можно заключить, что энтропия системы достигает максимального значения, когда вероятности появления информационных сигналов равны.

Следует отметить, что формула (4) верна в ситуации, когда заранее неизвестно, какое сообщение будет передано в тот или иной момент времени, т. е. выбор конкретного сообщения для адресата случаен.

Примером использования такой ситуации может быть АСПВБ, в которой задействуют единый информационный канал. При этом информационные сигналы поступают к адресату независимо друг от друга.

В случае создания АСПВБ, в которой ряд сигналов зависит друг от друга, величина информационной энтропии определяется по зависимости, отличной от (4).

Тогда систему сигналов  $(X, Y)$  рассматриваем как один сигнал, а множество состояний такого совокупного сигнала представим состоящими из пар вида  $(x_i, y_j)$ , где  $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n$ . При известных вероятностях  $p(x_i, y_j)$  появления пары  $(x_i, y_j)$  энтропия системы сигналов  $(X, Y)$  определяется выражением

$$S(X, Y) = -\sum_{i=1}^n p(x_i, y_j) \log_2 p(x_i, y_j). \quad (9)$$

Согласно теореме умножения вероятностей имеем:

$$p(x_i, y_j) = p(y_j) p(x_i|y_j); \quad (10)$$

$$p(x_i, y_j) = p(x_i) p(y_j|x_i), \quad (11)$$

где  $p(x_i), p(y_j)$  — вероятности появления сигналов соответственно  $x_i \in X, y_j \in Y$ ;

$p(x_i|y_j)$  — условная вероятность появления элемента  $x_i \in X$  при условии, что уже имеется сигнал  $y_j \in Y$ ;

$p(y_j|x_i)$  — условная вероятность появления сигнала  $y_j \in Y$  при условии, что уже имеется сигнал  $x_i \in X$ .

Подставляя в (9) выражение (10), получаем формулу

$$S(X, Y) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p(y_j) p(x_i|y_j) \times \log_2 [p(y_j) p(x_i|y_j)]. \quad (12)$$

Учитывая, что  $\log_2(p(y_j) p(x_i|y_j)) = \log_2 p(y_j) + \log_2 p(x_i|y_j)$ , последнее выражение запишем в виде:

$$S(X, Y) = -\sum_{j=1}^n p(y_j) \log_2 p(y_j) \sum_{i=1}^n p(x_i|y_j) - \sum_{j=1}^n p(y_j) \sum_{i=1}^n p(x_i|y_j) \log_2 p(x_i|y_j). \quad (13)$$

Имея в виду, что  $\sum_{i=1}^n p(x_i|y_j) = 1$ , получаем выражение

$$S(X, Y) = -\sum_{j=1}^n p(y_j) \log_2 p(y_j) - \sum_{j=1}^n p(y_j) \sum_{i=1}^n p(x_i|y_j) \log_2 p(x_i|y_j). \quad (14)$$

В соответствии с (4) первая сумма (14) представляет собой энтропию сигнала  $Y$ , а вторую сумму

второго члена (14) можно рассматривать как энтропию сигнала  $X$  при условии, что второй сигнал  $Y$  получил конкретное значение  $Y_j$ . Эту условную энтропию относительно элемента  $Y_j$  можно назвать частной условной энтропией, которую обозначим как  $S(X|y_j)$ .

Аналогичное выражение можно получить и для  $S(Y|x_i)$ .

Следует показать, в каких пределах может изменяться энтропия объединения двух информационных сигналов —  $X$  и  $Y$ . Выражение для условной энтропии будет иметь вид:

$$S(X|Y) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p(y_j) p(x_i|y_j) \log_2 p(x_i|y_j). \quad (15)$$

Известно [9], что для независимых случайных событий условные вероятности равны безусловным. Если предположить, что составляющие  $X$  и  $Y$  сигнала  $(X, Y)$  независимы, то в выражении (14) возможна замена  $p(x_i|y_j) = p(x_i)$ , и тогда оно может быть преобразовано к виду:

$$S(X|Y) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i) \sum_{j=1}^n p(y_j). \quad (16)$$

Учитывая, что  $\sum_{j=1}^n p(y_j) = 1$ , имеем выражение

$$S(X|Y) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i) = S(X). \quad (17)$$

Иными словами, условная энтропия при независимых сигналах равна безусловной энтропии, что приводит к тому, что  $S(X, Y) = S(X) + S(Y)$ .

Для случая, когда информационные сигналы  $X$  и  $Y$  полностью зависимы, значения энтропий системы будут определяться следующим образом.

Пусть сигнал  $X$  принял значение  $x_j$ , а сигнал  $Y$  — значение  $y_k$ . В этом случае условная вероятность  $p(y_k|x_j) = 1$ , а все остальные принимают нулевое значение. Тогда в формулу (15) будут входить слагаемые вида либо  $p(x_i) \cdot 1 \cdot \log_2 1$ , либо  $p(x_i) \cdot 0 \cdot \log_2 0$ . В любом случае эти слагаемые равны нулю, поэтому  $S(X|Y) = 0$ .

### Результаты и их обсуждение

В результате исследований получена формула (14), позволяющая оценивать величину информационной энтропии для оценки надежности функционирования каналов передачи информации.

Тенденцией настоящего времени, связанной с уменьшением финансовых затрат на АСУТП, является создание на единой программно-аппаратной базе автоматизированных систем различного технологического назначения. Однако в данном случае необходимо разбираться в противоречиях, которые

могут возникать в части формулирования требований к тактовой частоте процессора и тактовой частоте системной магистрали передачи данных (системная шина).

Зависимость (14) должна учитываться проектировщиками АСУТП промышленных предприятий при расчете количества каналов передачи информации в интегрированных системах.

Повышение надежности может быть достигнуто за счет создания дополнительных каналов передачи информации, которые не задействуются в нормальных условиях. Однако, если возникает сигнал тревоги, идущий от датчиков избыточного давления, данные каналы будут задействованы, что не позволит допустить отказ АСПВБ в условиях чрезвычайной ситуации, обусловленной взрывами на промышленном предприятии.

## Выводы

Таким образом, представленные результаты по определению энтропий каналов передачи информации АСПВБ, позволяют количественно определить данные параметры, что, в свою очередь, дает возможность оценить устойчивость функционирования данной системы [1].

Результаты настоящей работы следует использовать при проектировании информационных каналов АСПВБ на единой микропроцессорной аппаратной базе в целях недопущения превышения критического значения энтропии системы.

Данный подход позволит повысить надежность функционирования АСПВБ, особенно в условиях возможных дестабилизирующих воздействий, при которых объем информации в системе может резко возрастать.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутузов С. Ю. Энтропийный метод определения эффективности функционирования информационных каналов автоматизированных комплексных систем безопасности промышленных предприятий // Вестник Академии Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2005. — № 4. — С. 6–9.
2. Бородин И. Ф., Кирилин Н. И. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. — М. : Колосс, 1977. — 328 с.
3. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем / Пер. с англ. — М. : Наука, 1978. — 248 с.
4. Куликовский Л. Ф., Мотов В. В. Теоретические основы информационных процессов. — М. : Высшая школа, 1987. — 248 с.
5. Топольский Н. Г. Автоматизация систем пожарной безопасности АЭС. — М. : ВИПТШ МВД России, 1994. — 200 с.
6. Топольский Н. Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов. — М. : МИПБ МВД России, 1997. — 164 с.
7. Ефимов М. В. Теория автоматического управления. — М. : МГУП, 2006. — 420 с.
8. Rosenbrok H. H. Computer-aided control system design. — London : Academic Press, 1974. — 230 p.
9. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М. : КноРус, 2010. — 664 с.
10. Юркевич Е. В., Азаренкова Н. В., Долкарт В. М. Методология регулирования энтропии в корпоративных информационных системах // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. — 2013. — Т. 133, № 2. — С. 39–48.
11. Воронов А. А. Основы теории автоматического управления: Автоматическое регулирование непрерывных линейных систем. — 2-е изд., перераб. — М. : Энергия, 1980. — 312 с.
12. Aroca R. A., Tomkins A., Doi Y., Yamamoto T., Voinigescu S. P. Circuit performance characterization of digital 45-nm CMOS technology for applications around 110 GHz // IEEE Symposium on VLSI Circuits. — 2008. — P. 162–163. DOI: 10.1109/VLSIC.2008.4585991.
13. Siljak D. Analyses and syntheses of feedback of control systems in parameters plane // IEEE Journal of Oceanic Engineering. — 2017. — Vol. 42. — P. 253–262.
14. Бутузов С. Ю. Моделирование автоматизированных информационно-управляющих систем интегральной безопасности высокорисковых объектов // Технологии техносферной безопасности. — 2007. — Вып. 2(12). — 9 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-2/13-02-07.ttb.pdf> (дата обращения: 30.08.2017).
15. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / Пер. с англ. — М. : Иностранная литература, 1963. — 832 с.

Материал поступил в редакцию 2 сентября 2017 г.

Для цитирования: Бутузов С. Ю., Пранов Б. М., Прус Ю. В., Семиков В. Л., Яковлев О. В. Модель оценки устойчивости автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 11. — С. 14–20. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.14-20.

## STABILITY EVALUATION MODEL OF COMPUTER-AIDED FIRE-EXPLOSION SAFETY SYSTEMS

**BUTUZOV S. Yu.**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Information Technology, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: butuzov\_s\_yu@mail.ru)

**PRANOV B. M.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Applied Information Technology, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Vernadskogo Avenue, 82, build. 1, Moscow, 119571, Russian Federation; e-mail: boris.pranov@gmail.com)

**PRUS Yu. V.**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of Department of Management and Economics of State Fire Service, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: prus.yurii@gmail.ru)

**SEMIKOV V. L.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Management and Economics of State Fire Service, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: vlsemikov@km.ru)

**YAKOVLEV O. V.**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Federal Research Centre "Information and Management" (Vavilova St., 44, build. 2, Moscow, 119333, Russian Federation; e-mail: olexvl@yandex.ru)

### ABSTRACT

In the conditions of the modern economic growth, the urgency of the reliable functioning of the computer-aided system of industrial enterprises, which are critical for the Russian economy, is growing.

The computer-aided fire-explosion safety systems now play a key role in the structure of computer-aided system. At the same time, they are a superfast system that can detect overpressure of explosive process units within 0.1 microseconds. In this case, it is possible to carry out a real-time pressure relief to protect the technological equipment from destruction and the personnel of the enterprise from destruction.

Computer-aided fire-explosion safety systems are part of computer-aided systems of technological processes. Value of operating frequency of system bus of these systems is approximately 100 MHz. So, sustainability assessment function of information transfer channel is important scientific and technical problem.

There is mathematical model of assessment of the stability of information transfer channels in the article. This model is based on scientific, theoretical and mathematical models of E. Rouse and on entropy methods of A. Wilson.

Simulation was carried out of reliability of information transfer channels for various options for building these systems. It is shown that an integrated approach based on the use of a single hardware/software platform of a microprocessor platform can be used to optimize the single of creating an ASP.

Potential destabilizing effects have a negative impact on the sustainability of the work of ASIA. Under these conditions, the amount of information sharply increases in the system. And the model of estimating the entropy will allow the reliability of the automated system as a whole to depend.

**Keywords:** computer-aided process control systems; system data line; computer-aided fire-explosion safety systems; stability and reliability of technical systems; entropy of technical system; entropy evaluation model of sustainability.

## REFERENCES

1. Butuzov S. Yu. An entropy method for determining the efficiency of the functioning of information channels of automated integrated security systems for industrial enterprises. *Vestnik Akademii Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Bulletin of State Fire Academy of Emercom of Russia*, 2005, no. 4, pp. 6–9 (in Russian).
2. Borodin I. F., Kirilin N. I. *Osnovy avtomatiki i avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov* [Fundamentals of automation and automation of production processes]. Moscow, Koloss Publ., 1977. 328 p. (in Russian).
3. Wilson A. G. *Entropy in urban and regional modelling*. London, Pion Limited, 1970 (Russ. ed.: Wilson A. G. Entropiynnye metody modelirovaniya slozhnykh sistem. Moscow, Nauka Publ., 1978. 248 p.).
4. Kulikovskiy L. F., Motov V. V. *Teoreticheskiye osnovy informatsionnykh protsessov* [Theoretical basis of information processes]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1987. 248 p. (in Russian).
5. Topolskiy N. G. *Avtomatizatsiya sistem pozharной bezopasnosti AES* [Automation of fire safety systems of nuclear power plants]. Moscow, High Engineering Fire Technical School of Ministry of the Internal Affairs of Russia Publ., 1994. 200 p. (in Russian).
6. Topolskiy N. G. *Osnovy avtomatizirovannykh sistem pozharovzryvbezopasnosti obyektov* [Basics of automated fire and explosion safety systems]. Moscow, Fire Safety Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 1997. 164 p. (in Russian).
7. Efimov M. V. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya* [Theory of automatic control]. Moscow, MGUP Publ., 2006. 420 p. (in Russian).
8. Rosenbrok H. H. *Computer-aided control system design*. London, Academic Press, 1974. 230 p.
9. Venttsel E. S. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Moscow, KnoRus Publ., 2010. 664 p. (in Russian).
10. Yurkevich E. V., Azarenkova N. V., Dolkart V. M. Methodology of entropy regulation in corporate information systems. *Voprosy elektromekhaniki. Trudy VNIIEEM / Electromechanical Matters. VNIIEEM Studies*, 2013, vol. 133, no. 2, pp. 39–48 (in Russian).
11. Voronov A. A. *Osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniya: Avtomaticheskoye regulirovaniye nepre-ryvnykh lineynykh sistem* [Fundamentals of the theory of automatic control: Automatic control of continuous linear systems]. Moscow, Energiya Publ., 1980. 312 p. (in Russian).
12. Aroca R. A., Tomkins A., Doi Y., Yamamoto T., Voinigescu S. P. Circuit performance characterization of digital 45-nm CMOS technology for applications around 110 GHz. In: *IEEE Symposium on VLSI Circuits*, 2008, pp. 162–163. DOI: 10.1109/VLSIC.2008.4585991.
13. Siljak D. Analyses and syntheses of feedback of control systems in parameters plane. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2017, vol. 42, pp. 253–262.
14. Butuzov S. Yu. Modeling of automated information-control systems of integral safety of high-risk objects. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2007, issue 2(12). 9 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-2/13-02-07.ttb.pdf> (Accessed 30 August 2017).
15. Shannon C. *Raboty po teorii informatsii i kibernetike* [Works on information theory and cybernetics]. Moscow, Inostrannaya literatura Publ., 1963. 832 p. (in Russian).

**For citation:** Butuzov S. Yu., Pranov B. M., Prus Yu. V., Semikov V. L., Yakovlev O. V. Stability evaluation model of computer-aided fire-explosion safety systems. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 14–20 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.14-20.